JAN BARCZYK

Nie bójcie się robotów



BIBLIOTEKA
● MŁODEGO
TECHNIKA ●

Instytut Wydawniczy
„Nasza Księgarnia"

JAN
BARCZYK

Nie bójcie się robotów

Nasza Księgarnia · Warszawa 1984

Okładkę wykonał
Piotr Syski

Rysunki według opracowania Autora wykonał **Brunon Nowicki**

1 ROBOTY MAJĄ JUŻ SWOJĄ HISTORIĘ

Boimy się rzeczy nieznanych. Boimy się jeszcze bardziej, gdy tym nieznanym ktoś nas straszy. W miarę jednak poznawania świata, poznawania jego praw i mechanizmów, oswajamy się z groźnymi zjawiskami i strach zanika. Mało tego, wówczas sami świadomie ingerujemy w przebieg zjawisk, osiągając pożądane przez nas cele. Tak było też z robotami...

Marzono o nich, o sztucznych istotach posłusznych człowiekowi, ale ich pojawianie się budziło niepokój. Tajemnica ich pojawiania się, nagłe ożywienie martwej materii, podobieństwo do człowieka – to wszystko było groźne! Jak każda tajemnica, również i tajemnica sztucznych istot pobudzała konstruktorów różnych epok. Jednak wszelkie próby budowy sztucznego człowieka okazywały się nieudane – były to tylko mniej lub bardziej skomplikowane manekiny, wykonujące kilka ściśle określonych ruchów. Ze sztucznymi istotami te modele nie miały nic wspólnego, co najwyżej naśladowały jedno wybrane działanie człowieka. Wraz z rozwojem techniki udoskonalano również konstrukcję i wyposażenie mechanizmów człekokształtnych – wprowadzano lepsze materiały, stosowano nowe rodzaje napędów, mierzono i kontrolowano wybrane parametry techniczne mechanizmów (np. przemieszczenie); wyposażano te mechanizmy w układy automatycznej regulacji. Współczesna technika stwarza jeszcze większe możliwości: miniaturowe zespoły wykonawcze, mikroczujniki, elektroniczne układy wielkiej skali integracji, systemy rozpoznawania mowy i obrazów – to wszystko z powodzeniem może być zastosowane do budowy robota. I praktycznie skorzys-

tano już z tych możliwości. W fabrykach obok ludzi pracują ich „mechaniczni niewolnicy" – roboty przemysłowe. Te trochę „głuche i ślepe" roboty są przystosowane do wykonywania określonego rodzaju pracy i wykonują ją dobrze, czasem nawet lepiej (szybciej, dokładniej) od człowieka.

Przyzwyczajamy się do maszyn manipulacyjnych (roboty przemysłowe są szczególnym rozwiązaniem konstrukcyjnym tej grupy maszyn), wykorzystując w sposób naturalny ich możliwości stworzone przez człowieka i przystosowane do jego potrzeb. Tymczasem w fantastycznych powieściach i filmach gatunku science-fiction robot często miał monstrualne wymiary i stawał się groźnym przeciwnikiem człowieka. Pełne grozy są opowiadania Mary Shelly (bardziej znane z różnych wersji filmowych) przedstawiające roboty-monstra, powoływane do życia przez doktora Frankensteina. Autorzy powieści fantastycznych rzadko uzależniali powszechne szczęście od zastosowania robotów – z reguły widzieli w tym zagrożenie dla ludzkości, które ich zdaniem polegało na wyposażeniu maszyny w coraz większą świadomość. To z kolei prowadziło do powstania maszyn mądrzejszych od człowieka, robotów rozmnażających się bez kontroli, mających instynkt samozachowawczy. Tak na przykład w jednym ze swoich opowiadań Ray Bradbury przedstawia wojnę prowadzoną w przyszłości przez roboty: zbudowano bombowce z autopilotem oraz automatyczne podziemne fabryki produkujące sprzęt wojenny, doprowadzono do perfekcji programy niszczenia przeciwnika oraz uzupełniania własnych strat; wybuchy jądrowe niszczą ogromne obszary Ziemi, ale uruchomiony raz mechanizm działa idealnie przez cały czas, mimo iż ludzie na Ziemi wyginęli na samym początku tej tragicznej wojny.

Motyw zagrożenia pojawił się równocześnie z terminem „robot". W 1920 roku Karel Čapek w dramacie *RUR* (skrót nazwy firmy *Rossum's Universal Robots* – produkującej masowo mechanicznych ludzi) użył po raz pierwszy słowa robot do określenia istot człekokształtnych „bez woli, namiętności, bez przeszłości i bez duszy". Byli to sztuczni robotnicy, których wytwarzanie

odbywało się na takich samych zasadach, jak produkcja innych maszyn i urządzeń. „Produkcja musi być jak najprostsza, a produkt jak najlepszy, jak najpraktyczniejszy – stwierdza jedna z osób dramatu. – A dla fabryki najlepszy jest taki robotnik, który jest najtańszy, który ma jak najmniej potrzeb. Młody Rossum skonstruował robotnika mającego minimum potrzeb. Musiał go uprościć. Odrzucił wszystko, co bezpośrednio nie wiąże się z wykonywaniem pracy. W ten właśnie sposób zlikwidował człowieka i stworzył Robota..." Podczas eksploatacji okazało się jednak, że pierwsze roboty były zbyt uproszczone, miały zbyt uproszczony system nerwowy. W szczególności brak zdolności reagowania na ból był przyczyną ich poważnych uszkodzeń. Nowe pokolenie robotów uzyskało więc system nerwowy i większy mózg. Wprawdzie konstruktorzy robotów z dramatu Čapka stwierdzili, że „...prędzej podburzyć można wrzeciona albo gwoździe niż nasze Roboty", to jednak, jak okazało się w zakończeniu dramatu, dzięki rozbudowanemu systemowi nerwowemu taki bunt robotów stał się faktem. Karel Čapek wprowadził więc nie tylko sam termin „robot", ale również opisał zagrożenie, jakie te istoty przynieść mogą ludzkości. Radius – Robot o największym mózgu na świecie, większym od mózgu innych Robotów i od mózgu człowieka – stwierdza w pewnym momencie:

„Nie chcę mieć nad sobą pana. Wiem wszystko sam...
Chcę być panem dla innych...
Ja chcę być panem nad ludźmi..."

Również groźną wymowę ma pierwsza odezwa Robotów:

„Do Robotów całego świata!

My, pierwsza organizacja Uniwersalnych Robotów Marki Rossum, piętnujemy człowieka jako naszego wroga i stwierdzamy, że jest on wyrzutkiem społeczności wszechświata... Roboty wszystkich kontynentów świata! Rozkazujemy wam, byście wymordowali całą ludzkość. Nie oszczędzajcie mężczyzn! Nie oszczędzajcie kobiet! Zachowajcie w stanie nietkniętym fabryki, koleje, maszyny, kopalnie i zapasy surowca. Wszystko inne musicie

zniszczyć. Spełniwszy to zadanie wracajcie do pracy! Praca nie może ustać!"

W zakończeniu drugiego aktu dramatu Radius stwierdza:

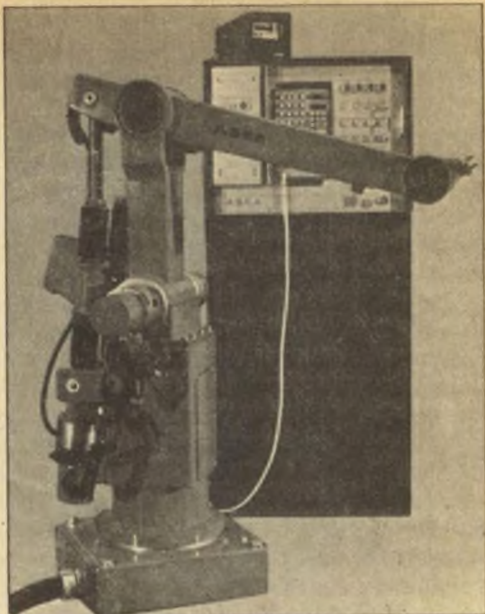
„...Roboty całego świata! Władza człowieka skończyła się! Fabryka zdobyta. Staliśmy się panami wszystkiego. Era ludzkości już zamknięta! Narodził się świat nowy, nastają rządy Robotów. Świat należy do silniejszych, kto chce żyć, musi mieć władzę! Jesteśmy panami świata! Panujemy nad morzami i lądami! Nad gwiazdami! Nad całym wszechświatem! Miejsca, miejsca, więcej miejsca dla Robotów!"

Termin „robot" zadziwiająco szybko przyjął się w literaturze fantastyczno-naukowej oraz w prasie technicznej. Czasami spotyka się inne słowa o podobnym znaczeniu. Są to:

- automaton, z greckiego, oznacza „samoporuszający się",
- android, z greckiego, oznacza automat o kształcie człowieka,
- homunculus, z łaciny, oznacza małego człowieka lub manekin.

W literaturze fantastycznej prezentowano różne wizje świata robotów, świata bez ludzi, w którym całe bogactwo życia wewnętrznego i kultury człowieka przejęte zostało przez mądre roboty. Roboty opowiadały nawet swoim dzieciom bajki (*Bajki robotów* Lema). Roboty współpracujące z człowiekiem wykonywały zwykle działania pomocnicze, niekoniecznie najprostsze, na przykład często dokonywały obliczeń trasy lotu pojazdu kosmicznego. Roboty posiadały zwykle swoją osobowość: niektóre były mądre – inne głupie; jedne łagodne – drugie złośliwe; niektóre wierne, a inne zbuntowane...

Stosunek robotów do człowieka był często głównym tematem rozważań autorów powieści fantastycznych (rzadziej zwracano uwagę na stosunek człowieka do robotów). Stawiano sobie pytanie, jak daleko robot może ingerować w działalność człowieka, postępować wbrew jego woli w sytuacjach zagrożenia człowieka i siebie samego. Zakładano, że przy większej wiedzy robotów mogą one szybciej niż człowiek, i co istotne – bez emocji, podjąć właściwą decyzję, a więc mogą realizować swoje, a nie człowieka rozkazy.



Tak wygląda współczesny robot przemysłowy – zawiera on układ manipulacyjny (na pierwszym planie) oraz układ sterowania (w tle). Do ramienia może być przymocowana łapa albo bezpośrednio narzędzie pracy (pistolet natryskowy, głowica do zgrzewania, palnik do spawania itp.). Układ sterowania umożliwia zaprogramowanie złożonych cyklów pracy i automatyczne odtwarzanie tego programu

Amerykański pisarz Isaac Asimov, który pierwszy wprowadził pojęcia przyjaźni i użyteczności robota, sformułował następujące prawa robotyki, których przestrzeganie zapewnić miało człowiekowi ochronę.

1. Robot nie może ingerować w działania człowieka, z wyjątkiem tych, które człowiekowi szkodzą.

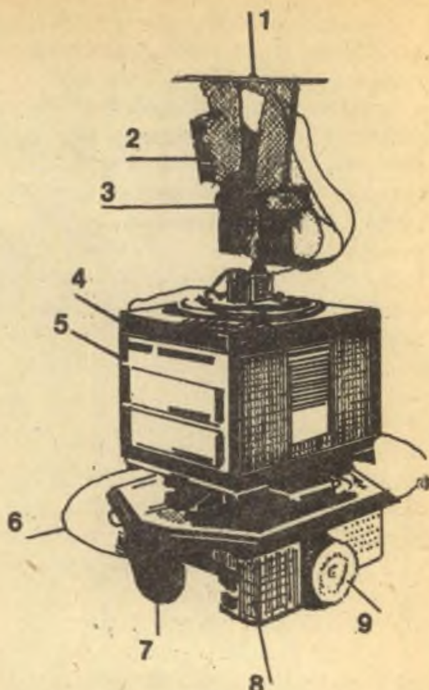
2. Robot musi być posłuszny rozkazom wydanym przez człowieka, oprócz tych rozkazów, które są sprzeczne z pierwszym prawem.

3. Robot musi zachować swoją egzystencję, oprócz tych przypadków, które są sprzeczne z pierwszym lub drugim przypadkiem.

Prawa te próbowano modyfikować, eliminując dwuznaczność, ale dotychczas nie rozstrzygnięto problemu oceny działań, które szkodzą człowiekowi.

Robot nie musi – i najprawdopodobniej nie będzie – posiadać kształtu na wzór i podobieństwo człowieka. I. Asimov stwierdza co prawda, że współczesne środowisko tak zostało już przystosowane do człowieka, że tylko człekokształtny robot może wykonywać prawidłowo wszystkie zadania. Przeczą jednak temu rozwiązania techniczne, w których funkcje człowieka zastąpiono całkowicie odmiennymi urządzeniami. Na przykład nie skonstruowano robota, który by stalowymi rękoma obracał zawór dozujący ilość pary dostarczanej do turbiny – zastosowano natomiast prosty regulator odśrodkowy. Postęp techniczny stwarzać będzie możliwość budowania coraz sprawniejszych robotów, ale nie ma zbytniej potrzeby osiągania zewnętrznego podobieństwa maszyny do człowieka. Tak jak maszyny latające wcale nie poruszają skrzydłami na wzór ptaka, a poruszające się w wodzie maszyny nie mają płetw – tak samo robot może wyglądać inaczej niż człowiek. Mimo podpatrywania przyrody i naśladowania istniejących tam konstrukcji czujników informacji, organów wykonawczych, układów sygnałowych i akumulatorów energii, budowane przez człowieka urządzenia różnią się znacznie od tych, w jakie wyposażone zostały przez przyrodę żywe organizmy. Inne są bowiem zasady konstrukcji, materiały, inne kształty i wymiary, inne rodzaje energii itp.

Dążenie do budowania urządzeń podobnych do człowieka i rozumiejących jego mowę ma jednak pewne uzasadnienie psychologiczne. Od wieków przecież człowiek rozmawia z innymi ludźmi (czasem wydaje rozkazy zwierzętom). Być może jednak



Tak wyglądają obecnie konstruowane roboty o pewnych elementach samodzielności. Robot może przemieszczać się na kółkach (7,9) ma własne źródło energii (8). Łączność z centralnym układem sterowania odbywa się drogą radiową (1). Analiza otoczenia dokonywana jest za pomocą kamery telewizyjnej (3) oraz dalmierza (2), dotknięcie do przeszkody sygnalizuje czujnik (6). W korpusie robota (4) znajduje się blok sterowania (5)

przyzwyczaimy się do rozmowy z robotem równie łatwo, jak do słuchania radia i oglądania telewizji; przecież już obecnie znane są urządzenia sterowane głosem, wyróżniające proste rozkazy – na przykład „winda" przy wzywaniu windy na odpowiednie piętro.

Zastosowanie pierwszych robotów w przemyśle oraz w badaniach kosmicznych wywołało gwałtowny wzrost zainteresowania tymi maszynami. Współczesne roboty stają się coraz bardziej skomplikowane, coraz bardziej uniwersalne i dzięki temu znajdują coraz szersze zastosowanie. Znajomość ich budowy i działania uchroni nas przed zbytnim optymizmem dotyczącym prognoz szczęśliwego społeczeństwa, obsługiwanego przez roboty, oraz przed zbytnim pesymizmem, obawami i strachem, wywołanymi dalszym rozwojem robotów. Obawy o przyszłe bezrobocie są na razie bezpodstawne, gdyż obecnie liczba osób zatrudnionych przy budowie robotów znacznie przewyższa liczbę osób zastąpionych przez roboty.

2 PORUSZAJĄCE SIĘ MANEKINY

Wprawdzie termin „robot" wprowadzony został do słownictwa światowego zaledwie sześćdziesiąt lat temu, ale sama idea stworzenia sztucznej istoty, posłusznej, oddanej i wiernej człowiekowi towarzyszyła całej historii rozwoju ludzkości. Marzono o bliżej nieokreślonym człekokształtnym stworzeniu mechanicznym, spełniającym dowolne rozkazy człowieka, zastępującym go w pracy fizycznej i umysłowej. Już mity greckie przekazują opowieści o mechanicznych pomocnikach, naśladujących niektóre czynności ludzkie. Na przykład zbudowane przez boga ognia Hefajstosa złote mechaniczne dziewice służyły do zabawiania bogów w czasie przyjęć na Olimpie (mogły śpiewać, tańczyć i podawać do stołu). *Iliada* Homera (800 r. p.n.e.) zawiera opis przyjęcia, na które kulawy Hefajstos przybył w towarzystwie dwóch pięknych dziewcząt:

Dwa zaś posągi, w kształcie dwóch dziewic zrobione
Krok niepewny swym pewnym krokiem podpierały
I ruch, i głos, i rozum bogi im nadały
I przemysł, najcudniejsze dzieła robić zdolny.
Idą, pilnie zważając na pana krok wolny.

W niektórych starożytnych dziełach można znaleźć nawet konkretne rozwiązania mechanizmów, na przykład Heron z Aleksandrii (100 r. p.n.e.) opisał zasadę działania tańczących figurek w jednej ze świątyń – figurki te poruszały się pod działaniem gorącego powietrza, pochodzącego z ogniska na ołtarzu ofiarnym, w czasie tańca figurki polewały również winem ofiarę złożoną

bogom. W starożytnym Rzymie, według opisu rzymskich poetów i kronikarzy, na ówczesnych scenach występowali również mechaniczni aktorzy – ale kto wie – może była to forma złośliwej krytyki zdolności aktorskich?

Ponowny wzrost zainteresowania sztucznym człowiekiem nastąpił w średniowieczu. Z tego okresu przetrwały zapisy o „mówiącej głowie" zbudowanej około 100 roku przez Herberta Akwitańskiego oraz o „mechanicznym człowieku" i „mówiącym aparacie", skonstruowanym przez Alberta Wielkiego. Ten mechaniczny człowiek był odźwiernym u konstruktora – otwierał drzwi i godnie witał gości, natomiast mówiący aparat powtarzał wypowiadane powoli wyrazy.

W 1315 roku Al Dzazari opisał manekin do podawania słodyczy i warzyw.

Z przełomu XV i XVI wieku pochodzi opis „żelaznej ręki", którą posługiwał się rycerz Götz przy prowadzeniu wodzy konia i trzymaniu kopii. Proteza ta, zawierająca palce, dłoń, nadgarstek, przedramię, łokieć i część ramienia, składała się z ponad 200 części. We wnętrzu protezy był mechanizm sprężynowo-zapadkowy, dzięki któremu uzyskiwano żądane ułożenie ręki oraz obciśnięcie palców. Poszczególne sekcje protezy sterowane były odpowiednimi przyciskami.

Wiele różnych rozwiązań zawierających mechanizmy krzywkowe i napęd sprężynowy powstało w XVII i XVIII wieku. Do najsłynniejszych należą mechaniczne lalki zbudowane przez szwajcarskich zegarmistrzów Jacquesa i André Drozów. Ich „mały rysownik" kreślił (do wyboru): portrety Ludwika XVI i Marii Antoniny oraz Amora w wózku ciągnionym przez motyla. Zadziwiające było zachowanie rysownika: kładł on kreskę po kresce, pochylał się i zdmuchiwał pył węglowy z kartki... Konstruktorzy musieli zastosować to, co tak dziwiło widzów, aby ukryć czas przełączania mechanizmu krzywkowego. Jedna bowiem linia rysunku odpowiadała pojedynczej krzywce, po której poruszał się wodzik połączony dźwignią z ramieniem rysownika. Podczas przejścia wodzika z jednej krzywki na drugą włączał się



Zbudowana dla Marii Antoniny dziewczyna grająca na klawikordzie

dodatkowy zespół, który naciskając na mieszek, powodował wydmuchnięcie powietrza przez usta rysownika. Inna mechaniczna lalka, zbudowana dla Marii Antoniny przez J.Droza w 1773 roku, to dziewczyna grająca na klawikordzie. Przed rozpoczęciem gry brała ona głęboki oddech, odwracała głowę do słuchaczy, płochliwie opuszczała powieki, przez pewien czas zginała palce poruszając ramieniem w górę i w dół, wybierała na klawiaturze właściwy klawisz. W czasie grania jej ciało kołysało się rytmicznie,

pierś falowała. Na zakończenie koncertu kłaniała się publiczności. Do realizacji tego programu ruchów konstruktor zastosował cztery oddzielne skomplikowane mechanizmy umieszczone wewnątrz klawikordu, wewnątrz ciała dziewczyny i wewnątrz taboretu, na którym siedziała. W tym samym czasie niemiecki zegarmistrz Peter Kintzinge zbudował – także dla Marii Antoniny – cytrzystkę, która potrafiła grać osiem różnych melodii, zgodnie z wyborem dokonanym przez słuchacza.

Te oraz wiele innych mechanicznych zabawek (pisarze, gimnastycy itp.) służyło do zabawiania widzów i zadziwienia ich geniuszem konstruktorów; niezwykłość rozwiązań, złożoność konstrukcji, precyzja wykonania i działania budzi uznanie również obecnie. Były to jednak tylko ruchome manekiny z napędem sprężynowym, naśladujące wybrane czynności człowieka.

Pojawienie się nowych źródeł energii stworzyło kolejny bodziec do prób budowy sztucznego człowieka. W 1893 roku J. Moore skonstruował ,,parowego człowieka", napędzanego maszyną parową, umieszczoną w jego wnętrzu. Niewątpliwie budził grozę widok dwumetrowej blaszanej figury z dymiącym cygarem i z paleniskiem umieszczonym w korpusie. Do napędu wielu sztucznych istot wykorzystuje się jednak głównie energię elektryczną, a od czasu sformułowania podstawowych zasad cybernetyki można mówić o dalszym zbliżeniu się do realizacji jednego z odwiecznych marzeń ludzkości – skonstruowania robota!

W okresie międzywojennym skonstruowano kilka robotów wyposażonych w ówczesne nowinki techniczne: mikrofony, radia, zdalne sterowanie itp. Na przykład zbudowany w 1930 roku w Czechosłowacji ,,Człowiek Maszyna" miał mikrofony w uszach, fotokomórki w oczach – posiadał również układ sterowania złożony z 220 różnych przekaźników elektrycznych. Robot ten mógł poruszać swymi kończynami, odpowiadać na wybrane pytania, strzelać z karabinu i... palić papierosy! Na wystawie radiowej w Londynie, w 1932 roku zaprezentowano ,,mówiącego robota", który na pytanie podawał aktualny czas i mógł odczytać wiadomości z gazety, którą trzymał w ręku.

Efekty te uzyskano za pomocą prostego układu odtwarzającego, zawierającego dwie taśmy magnetyczne: jedną z ,,zegarynką", a drugą z nagranymi tekstami z codziennej gazety. W tym samym roku na wystawie w Berlinie prezentowano robota sterowanego zdalnie drogą radiową. Robot ten wstawał i siadał, ruszał rękami i palcami dłoni.

W 1933 roku robot zabił człowieka! Ten nieszczęśliwy wypadek zdarzył się w USA na wystawie światowej ,,Stulecie postępu", kiedy to konstruktor robota uderzony został, opadającą nagle podczas dokonywania drobnej naprawy, stalową ręką robota. Tuż przed wybuchem drugiej wojny światowej na Targi Światowe w Nowym Jorku zbudowano robota ,,Elektro", który mógł wykonywać 26 różnych ruchów, m.in. mógł chodzić do przodu i do tyłu, mógł śpiewać basem, liczyć na palcach i mówić ,,czerwone" lub ,,zielone", kiedy zapalono odpowiednie światło przed jego oczyma. Była to jedna z ostatnich prób wiernego odtworzenia ludzkiego działania za pomocą mechanizmu człekokształtnego. Konstruktor tego robota, J.M. Barnett, wskazał, że ciało człowieka dysponuje prawie 300 mięśniami, umożliwiającymi wykonanie wielu tysięcy różnych ruchów. Do wykonania zaledwie 26 ruchów niezbędne było użycie mechanizmów napędowych o wadze 5 kg – jak obliczył konstruktor – do wykonania zaś 500 stosunkowo prostych ruchów jego robot potrzebowałby mechanizmów o wadze 2500 kg!

Ostatnio chodzącego robota prezentowano w Japonii. W 1973 roku zbudowano robota ,,Wabot", który posiada ręce i nogi, kamery telewizyjne na miejscach oczu, sztuczny słuch, urządzenia zmysłów oraz ,,mózg". Konstruktorzy robota ocenili, że ma on umysł 2–3-letniego dziecka. Potrafi bowiem na rozkaz wykonać proste zadanie, na przykład przynieść żądany przedmiot. Kiedy robot otrzyma taki rozkaz, najpierw rozgląda się po pomieszczeniu w poszukiwaniu przedmiotu, znajduje ten przedmiot, pyta człowieka, czy o ten przedmiot chodzi, a po uzyskaniu potwierdzenia rusza po przedmiot, chwyta go i przynosi na żądane miejsce.

3 SZTUCZNI ROBOTNICY

Idea budowy sztucznych robotników doczekała się praktycznej realizacji w czterdzieści lat po jej opublikowaniu przez K. Čapka. Pierwszy robot przemysłowy zastosowano w Stanach Zjednoczonych w 1962 roku, wkrótce potem maszyny manipulacyjne zaczęły zastępować robotników przy wykonywaniu monotonnych, powtarzających się czynności, w warunkach szkodliwych dla zdrowia człowieka (zapylenie, hałas, opary itp.). Na przykład przy obsłudze pras i wykrojników, gdzie czynności manipulacyjne, takie jak: pobranie półwyrobu, położenie go w określonym miejscu, uruchomienie maszyny, wyjęcie przedmiotu i odłożenie w określone miejsce, są jednoznacznie określone. Przy obsłudze maszyn odlewniczych roboty wlewają płynny metal do formy i wyjmują gotowy przedmiot, roboty też zakładają i wyjmują po obróbce detale z obrabiarek sterowanych numerycznie.

Do automatyzacji transportu bliskiego zastosowano dotychczas na świecie największą liczbę robotów. Umożliwiło to wyeliminowanie przenoszenia przez robotników znacznych ciężarów. (Podczas ośmiogodzinnej pracy w cegielni robotnik zdejmujący cegły z taśmy i składający je w pojemniku przenosić musi w sumie kilka ton). W wytwórniach wód gazowanych – przy wkładaniu butelek do skrzynek – roboty wykonują to znacznie szybciej, gdyż można tak skonstruować ich urządzenie chwytne (łapę), że nie będą one brały po jednym przedmiocie, lecz po kilka naraz (np. mogą jednocześnie wkładać wszystkie butelki do skrzynki). Nieco więcej trudności sprawiają tak zwane zastosowania technologiczne, w których robot uczestniczy bezpośrednio w realizacji

określonego zadania technologicznego, na przykład przy malowaniu, zgrzewaniu, spawaniu itp. W tych przypadkach robot posługuje się narzędziem (odpowiednio: pistoletem natryskowym, głowicą do zgrzewania lub palnikiem gazowym), które może być przymocowane na stałe do ramienia robota albo może być każdorazowo chwytane.

Oczywiście nie przy każdym stanowisku pracę człowieka może wykonać robot, w szczególności tam, gdzie zachodzi konieczność wykorzystania poszczególnych zmysłów. Współczesne, powszechnie stosowane roboty przemysłowe są jeszcze maszynami o bardzo ograniczonych możliwościach. Mogą one realizować wiele różnych zadań, ale muszą to być zadania dokładnie zdefiniowane, realizowane cały czas w tych samych warunkach, muszą być także przewidziane wszystkie możliwości zakłóceń oraz odpowiednio określone w takich wypadkach działania robota. Roboty są „ślepe" i „głuche", to znaczy nie widzą, nie czują i nie słyszą, co się wokół nich dzieje. Może to i dobrze, bo nic nie odciąga ich od pracy, ale stają się bezradne, gdy zdarzy się coś nieprzewidzianego. Mało tego! Do niedawna jeszcze robot nie był informowany o tym, czy przedmiot, który ma uchwycić, jest w określonym miejscu, albo czy jest na przykład farba w pistolecie, i wówczas często wykonywał on programowy cykl pracy na próżno.

Spodziewać się jednak należy, że po wyposażeniu robotów w urządzenia sensoryczne, pełniące funkcje zmysłów, oraz w złożone układy sterowania z szybką i pojemną pamięcią, zakres ich zastosowań znacznie się rozszerzy i będą one mogły wykonywać również te zadania, których nie mogą realizować obecnie.

4 W OCZEKIWANIU NA TRZECIE POKOLENIE ROBOTÓW

Mimo że zastosowanie robotów do prac użytecznych dla człowieka ma zaledwie dwudziestoletnią historię, to już potrafimy wyróżnić trzy pokolenia robotów. W przeciągu tak krótkiego czasu roboty przeszły ogromną ewolucję. Zmieniła się nie tylko ich konstrukcja mechaniczna, lecz przede wszystkim możliwości analizowania otaczającego środowiska, realizacji złożonych zadań, wykorzystywania układów decyzyjnych itp.

Pierwsze pokolenie robotów to automatyczne manipulatory ze sterowaniem programowym, wykonujące operacje ściśle według programu. Aby realizowanie programu było możliwe, trzeba zapewnić stałe warunki pracy robota (dostarczanie identycznych przedmiotów w dokładnie określone miejsce, nie zmieniające się warunki procesu oraz otoczenie itp.). Roboty tego pokolenia przestają działać prawidłowo w sytuacji nie przewidzianej w programie. Niezbędna jest wtedy interwencja człowieka polegająca na zatrzymaniu robota i usunięciu niesprawności umożliwiającej dalszą prawidłową realizację programu.

Roboty drugiego pokolenia wyposażone są w urządzenia czujnikowe. Na system zmysłów robota składają się czujniki do analizy otoczenia (czujniki dotyku i siły, optyczne, ultradźwiękowe itp.) oraz czujniki wewnętrzne robota (np. czujniki położenia poszczególnych elementów robota względem podstawy). Dzięki zmysłom do układu sterowania robota wprowadzane są dane umożliwiające wybór odpowiedniego działania w zależności od sytuacji. Roboty drugiego pokolenia mają więc odpowiednie algorytmy działania umożliwiające na przykład rozpoznanie

kształtu chwytanego przedmiotu, dobór minimalnej siły chwytu lub wybór najkrótszej drogi. Roboty drugiego pokolenia przewyższają swoimi możliwościami funkcjonalnymi możliwości robotów pierwszego pokolenia, co nie oznacza jednak, że powinny one być wszędzie stosowane, bo są oczywiście droższe. W wielu procesach przemysłowych proste roboty ze sterowaniem programowym prawidłowo wypełniają swoje zadanie. Robotów drugiego pokolenia nie produkuje się jeszcze seryjnie, jednakże w wielu krajach, również w Polsce, prowadzi się badania układów czujnikowych oraz algorytmów pracy tych robotów.

Roboty trzeciego pokolenia zwane są „robotami inteligentnymi", mają one bowiem, oprócz złożonej konstrukcji mechanicznej oraz rozbudowanych układów czujnikowych, również „sztuczny intelekt". Roboty trzeciego pokolenia będą zastępować człowieka nie tylko przy wykonywaniu pracy fizycznej, lecz również w działalności intelektualnej, tj. w rozwiązywaniu zadań wymagających rozumnego postępowania. Dysponując możliwością samodzielnego uczenia się na podstawie własnych doświadczeń oraz możliwością wyboru postępowania, roboty będą mogły wyręczać ludzi przy realizacji złożonych zadań. Reagowanie na mowę ludzką, prowadzenie dialogu z człowiekiem, rozpoznawanie otoczenia systemami telewizyjnymi, analizowanie sytuacji i podejmowanie właściwego działania to cechy przypisywane – nieco na wyrost – robotom trzeciego pokolenia. Obecnie przeprowadza się próby w laboratoriach, gdzie badane są możliwości współpracy „mózgu" robota (uniwersalnej elektronicznej maszyny cyfrowej) ze sztucznymi organami zmysłów. Jak dotychczas, najwięcej trudności sprawia stworzenie i zrealizowanie idei budowy programów postępowania robota w nieznanym dokładnie środowisku – trudno bowiem wyobrazić sobie zbudowanie (a później wykorzystanie) programu zawierającego tysiące możliwości postępowania w tysiącach różnych sytuacji, w jakich robot może się znaleźć.

5 ANATOMIA ROBOTA

Słownik języka polskiego przy wyrazie „robot" wyjaśnia: „automat wykonujący skomplikowane czynności, zastępujące pracę człowieka". Jest to definicja tradycyjna, o bardzo szerokim znaczeniu. Pod tak ogólnie sformułowane określenie podciągnąć można prawie wszystkie współcześnie stosowane urządzenia, mechanizmy i układy ułatwiające człowiekowi pracę. Takimi urządzeniami są różnego rodzaju automaty sprzedające, a także układ złożony z fotokomórek i siłowników, otwierający drzwi hotelu przed nadchodzącym gościem; radar sprzężony z artylerią przeciwlotniczą zastępujący cały ciąg ludzi wykonujących szereg czynności: od obserwacji przez sygnalizację, celowanie aż do nastawienia warunków odpalenia; współczesne elektroniczne maszyny cyfrowe, które po otrzymaniu odpowiednio sformułowanego zadania w błyskawicznym tempie rozwiązują lub opracowują żądane problemy, jak również lodówka, radio, telewizja i inne urządzenia z zadanym programem działania.

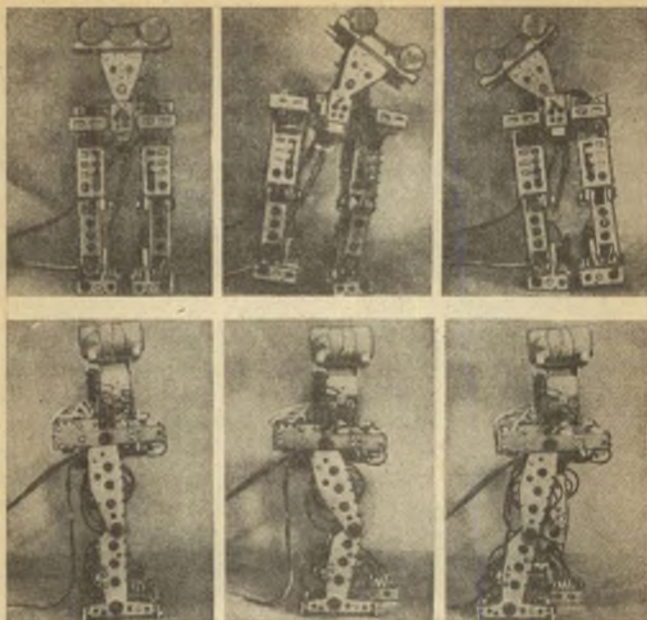
Definiując wyraz „robot" bardziej szczegółowo powiemy, że jest to układ składający się z części mechanicznej, to jest elementów pozwalających mu na poruszanie się w przestrzeni (nogi) i umożliwiający manipulowanie (ręce), wyposażony w urządzenia odbioru informacji (zmysły), w urządzenia przekazywania i przekształcania informacji (system nerwowy), w centrum sterowania (mózg) oraz w urządzenia łączności człowieka z robotem (mowa i słuch). Roboty powinny więc mieć „ciało", to jest konstrukcję mechaniczną z organami pozwalającymi realizować różnorodne ruchy i przemieszczenia; powinny mieć rozwinięte „organy czuciowe" – czujniki siły, przemieszczenia, ruchu itp., za pomocą

których przyjmować będą informacje o środowisku, a także powinny posiadać układ sterujący, który na podstawie rozkazów wydanych przez człowieka i informacji o otaczającym robota środowisku, wypracowuje rozkazy dla organów wykonawczych.

Robotem nazwiemy więc samodzielne urządzenie zdolne do wykonywania zleconych mu czynności, wskazujące celowe postępowanie przy zmianie parametrów środowiska oraz poleceń otrzymywanych z zewnątrz.

Przekazywane robotowi instrukcje muszą być rozszyfrowane. Jeżeli ustnie zlecimy robotowi wykonanie określonej czynności, na przykład „przynieś młotek", to przy tak sformułowanej prośbie-rozkazie, aby został on zrozumiany i prawidłowo wykonany, niezbędne jest zakodowanie w pamięci robota informacji nie tylko o młotku (jak go rozpoznać wśród innych przedmiotów?), o tym, gdzie się on znajduje, i jak do niego dotrzeć, lecz również robot musi „zrozumieć", co z tym młotkiem zrobić. Do realizacji tego zadania niezbędna jest analiza informacji o środowisku, dotyczących zarówno bezpośrednio poszukiwanego przedmiotu, jak i innych elementów otoczenia. Elementy wykonawcze robota oddziałują na środowisko, powodując na przykład przemieszczenie się robota po określonej trasie albo przeniesienie odpowiednich przedmiotów. Te zmiany powinny być rejestrowane przez urządzenia zmysłów robota i przekazywane do jego układu sterowania. W wielu przypadkach blok sterowania może żądać dokładniejszych informacji, na przykład uzyskania bardziej wyraźnego obrazu z kamery telewizyjnej.

Robot jest urządzeniem integrującym różne systemy techniczne. Cała problematyka sztucznej inteligencji wiąże się bezpośrednio z robotami, chociaż badania w tym zakresie od wielu lat prowadzone były niezależnie (i są nadal prowadzone, a uzyskane rozwiązania stosuje się w różnych dziedzinach nauki i techniki). Większość stosowanych obecnie w robotach układów czujnikowych (sensorycznych) opracowana została do innych celów, a przystosowana jedynie dla potrzeb robota. Układy sterowania



Japoński robot „Wabot" w kolejnych fazach chodu. Układ kroczący składa się z 11 ruchomych członów poruszanych siłownikami hydraulicznymi. Robot połączony jest dwoma przewodami z elektronicznym układem sterującym oraz napędowym układem hydraulicznym. Z lewej strony robot w pozycji stojącej, w środku i po prawej stronie podczas chodzenia

i zespoły napędowe są także zespołami ogólnego przeznaczenia (mimo że czasem są one specjalizowane).

Stosując współczesne rozwiązania techniczne można w zadowalającym stopniu zrealizować zarówno część mechaniczną robota, jak i część informacyjną. Właśnie układy zbierania, przekształcania i przechowywania informacji oraz układy podejmowania

decyzji hamowały do niedawna prace nad stworzeniem nowej generacji maszyn-robotów. Obecnie współpraca tych układów, ich przystosowanie do zadań realizowanych przez robota stanowi główny kierunek zainteresowań konstruktorów i naukowców.

Panuje przekonanie, że robot nie będzie miał nóg. Przypuszcza się, że będzie się on przemieszczać na kołach (prawdopodobnie na trzech, z których dwa będą kołami jezdnymi z niezależnym napędem, a trzecie będzie kołem biernym). Robot będzie chwytał przedmioty za pomocą przymocowanego do platformy manipulatora; na platformie jezdnej umieszczone zostaną urządzenia zbierania informacji o otoczeniu (kamery telewizyjne, dalmierze i inne urządzenia sensoryczne) oraz blok sterujący mechanizmami robota. Współpracę wszystkich układów, a także opracowywanie bardziej złożonych problemów, takich jak rozpoznawanie otoczenia, analiza rozkazów itp. zapewniać będzie komputer o dużej pojemności pamięci.

Szkielet i mięśnie robota

Część mechaniczna robota, chociaż od dawna już rozpracowywana, niesie z sobą jeszcze wiele nie rozwiązanych problemów, dotyczących przemieszczania się robota, wyboru najwłaściwszego rodzaju energii, wyboru konfiguracji układu manipulacyjnego itp. Twory natury stanowią tutaj ciągle niedoścignione wzory, zadziwiające inżynierów elegancją i prostotą konstrukcji, niezawodnością działania. Żywe organizmy zostały przez przyrodę wyposażone w narządy umożliwiające im wykonywanie różnorodnych form przemieszczania się od pełzania, przez chód, skoki, do szybkiego biegu. W technice takich rozwiązań dotychczas nie było. Naziemne środki transportu, do których zaliczymy również robota, wykorzystywały głównie zasadę toczącego się koła (także w pojazdach gąsiennicowych), która jest przydatna na drogach o względnie równej powierzchni.

W związku z programem badań rejonów trudno dostępnych,

o nieznanej rzeźbie powierzchni (zarówno na Ziemi i w Kosmosie), znacznie wzrosło zainteresowanie urządzeniami kroczącymi. Ich główne zalety to łatwość pokonywania wyrw, pochyłości i innych trudnych warunków terenowych: tam, gdzie istnieje możliwość wyboru miejsca do postawienia nogi, mniejszych strat energii, możliwość regulacji nacisku na grunt (przez zmianę powierzchni styku) oraz możliwość zapewnienia poziomego przemieszczenia układu centralnego (korpusu zawierającego aparaturę), nawet wtedy gdy powierzchnia jest nierówna. Urządzenia kroczące mogą pracować w warunkach wysokiej próżni i dużych różnic temperatur, zajmują one mało miejsca (gdyż nogi można składać), co jest istotne przy transporcie ich na planety Układu Słonecznego. Idea zbudowania robota przemieszczającego się za pomocą nóg od dawna przykuwała uwagę uczonych i konstruktorów. Nie można było tego osiągnąć przez zastosowanie rozwiązań czysto mechanicznych, gdyż taka maszyna musi być wyposażona w złożony układ sterowania zapewniający jej stabilność oraz koordynację jej kończyn podczas kroczenia po nierównej powierzchni. O skomplikowaniu problemu świadczyć może to, że do realizacji różnych form przemieszczania się (chód, bieg, skok itp.) człowiek ma do dyspozycji kilkaset mięśni i zmysł równowagi, który jest dotychczas prawie nie zbadany. Również sposób sterowania pracą odpowiednich mięśni, którymi każdy z nas się posługuje przy wykonywaniu poszczególnych ruchów, nie jest znany – szczególnie w tak niekorzystnych przecież warunkach, jak wysoko położony środek ciężkości, przenoszenie ciężaru z jednej nogi na drugą, zmiana długości kroku itp.

Zbudowano już wiele maszyn kroczących różnej wielkości, o różnych algorytmach sterowania, różnych strukturach kinematycznych i różnej liczbie nóg. W tych sztucznych mechanizmach, analogicznie jak w poruszających się organizmach żywych, budowa układu kroczącego zależy od układu sterowania. To znaczy roboty wyposażone w skomplikowany system sterowania mogą mieć mniejszą liczbę nóg (np. dwie) o złożonej konstrukcji, natomiast przy prostym układzie sterowania trzeba stosować

większą liczbę nóg – o mniej złożonej strukturze. Jeżeli rozpatruje się problem stabilności maszyny, to zwiększenie liczby nóg, na przykład z dwóch do ośmiu, zwiększa jej stabilność, gdyż wystarczający się staje warunek utrzymania punktu ciężkości wewnątrz konturu podpór dotykających ziemi. W dwunożnym robocie należy zastosować złożone, wzajemnie sobie podporządkowane systemy sterowania. Głównemu układowi, decydującemu o wyborze trasy, podlegają układy wyboru rodzaju ruchu korpusu, tym z kolei – układy wyboru miejsca postawienia nogi na powierzchni, dalej układy koordynacji kończyn, którym podlegają układy sterowania poszczególnych fragmentów kończyny. Decyzje w poszczególnych układach podejmowane są na podstawie informacji ze stopnia nadrzędnego, aktualnego algorytmu oraz pomiarów. Urządzenie kroczące musi mieć czujniki położenia poszczególnych członów, czujniki dotyku stopy do podłoża, czujniki odległości itp. Układ sterowania robota kroczącego powinien dodatkowo rozwiązywać takie zadania, jak: określenie rodzaju ruchu i jego koordynacja w zależności od rzeźby terenu, zapewnienie stabilności robota (robot nie może się przewrócić nawet wówczas, gdy na drodze występują przeszkody, np. w postaci dziury). Dodatkowym zadaniem związanym z bezpieczeństwem robota może być utrzymanie żądanej wysokości korpusu robota nad powierzchnią terenu, niezależnie od reliefu drogi.

Idealnym rozwiązaniem przy przemieszczaniu się robota byłoby urządzenie krocząco-toczne, to znaczy wykorzystujące zalety urządzeń kroczących przy poruszaniu się po nierównej powierzchni oraz zalety urządzeń kołowych (głównie szybkość) przy poruszaniu się po dostatecznie równej powierzchni. Rzeczywiste rozwiązania konstrukcyjne powinny być przystosowane do stawianych robotom wymagań oraz warunków środowiska: tam gdzie nie będzie zachodzić potrzeba (np. w halach fabrycznych), nie będzie się stosować skomplikowanych układów kroczących, co najwyżej przemieszczenie po szynach (stosowane już obecnie w wielu przypadkach pracy robotów przemysłowych przy transporterze taśmowym). W większości zastosowań przemysłowych

roboty są maszynami stacjonarnymi, trwale mocowanymi do podłoża.

Stosowane obecnie urządzenia techniczne przeznaczone do spełniania funkcji ręki ludzkiej charakteryzuje ogromna różnorodność konstrukcji. Spotyka się rozwiązania podobne do ręki człowieka, tzn. składające się z ramienia, przedramienia, nadgarstka i palców, jednakże większość praktycznych układów manipulacyjnych posiada znacznie uproszczoną kinematykę: odpowiednie mechanizmy realizują ruch pionowy i poziomy oraz obroty wokół dwóch wzajemnie prostopadłych osi, a także chwytający ruch palców, zapewnia to możliwość manipulacji w określonej przestrzeni roboczej.

Poszczególne człony mechanizmu manipulatora mogą być połączone między sobą obrotowo albo w ten sposób, że możliwe jest tylko przemieszczenie liniowe. Przy różnej ilości członów mechanizmu i różnych sposobach ich połączenia możliwe jest więc budowanie manipulatorów o większych lub mniejszych możliwościach ruchowych.

Codziennie wykonujemy różnego rodzaju ruchy nie zastanawiając się ani nad ich przebiegiem, ani nad procesami zachodzącymi w naszym organizmie. Realizując zamierzony czyn nie myślimy o tym, która z części ciała, w jakiej kolejności oraz w jakim zakresie powinna się przemieścić. W życiu codziennym wykonujemy wiele powtarzalnych czynności, na które składa się szereg elementarnych ruchów: chwytanie, manipulowanie i umiejscowienie (puszczenie) przedmiotu. Takimi przedmiotami są części naszego ubrania, naczynia kuchenne i sztućce, przybory i narzędzia używane podczas wykonywania pracy. Wiele tych samych, jednoznacznie określonych, zwykle bardzo prostych czynności wykonują również robotnicy przy taśmach montażowych. Przykładem może być operacja pobrania dwóch elementów i połączenia ich śrubą z nakrętką. Trwa ona około 5 sekund i robotnik realizujący ten fragment procesu technologicznego przy taśmie montażowej wykonuje w ciągu 8 godzin ponad 14 000 operacji w cyklu:

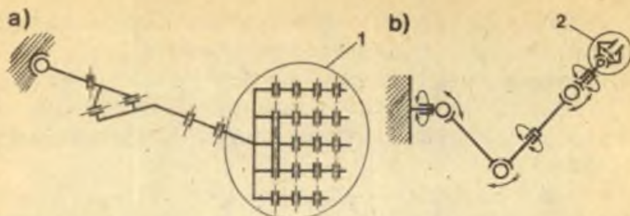
- chwycenie części A i przeniesienie jej na miejsce montażu,
- chwycenie części B i jej przemieszczenie,
- chwycenie śruby i włożenie jej w odpowiednie otwory części A i B,
- chwycenie nakrętki i narzędzia pracy (klucza) oraz dokręcenie nakrętki,
- odłożenie narzędzia i połączonego zespołu.

Każdy element tego cyklu wymaga wykonania ruchów rękami, a każdy z tych ruchów składa się z kilku prostych czynności: przemieszczenia dłoni – rozwarcia palców – zaciśnięcia palców – przemieszczenia dłoni – rozwarcia palców. Jednocześnie palcami (lub dłonią) wykonuje się przemieszczenia umożliwiające wzajemne dopasowanie części. Przemieszczenia dłoni w opisywanym cyklu wykonywane są zwykle po łukach. Natomiast przemieszczenia palców, ich rozwarcia i zwarcia są ruchami złożonymi.

Ludzka ręka, ze względu na swoją złożoność, od wielu lat stanowi przedmiot badań naukowych. Ma ona skomplikowany układ kinematyczny, złożony system kontroli, sygnalizacji i sterowania, może chwytać przedmioty różnymi sposobami. Nie zbadano jeszcze wielu problemów z zakresu budowy i działania ręki, na przykład nie jest dokładnie znany system napędowy, mimo iż stwierdzono istnienie 48 mięśni, mogących pracować niezależnie lub w różnych kombinacjach. Ręka ma 22 stopnie swobody, z których 15 określa położenie palców i kciuka. Jeden stopień swobody oznacza, że dany element względem nieruchomej podstawy może się poruszać tylko w jednym kierunku, bez zmiany swojego początkowego ustawienia, na przykład obrócić się wokół osi.

Uniwersalność dłoni polega na tym, że może ona chwytać przedmioty o różnych kształtach i wymiarach, a wartość siły zacisku palców dostosowuje się do ciężaru i struktury powierzchni przenoszonego przedmiotu. Przyjmując jako kryterium klasyfikacji rodzaj kontaktu (styku) palców z przedmiotem, wyróżniono sześć podstawowych wzorców chwytania dłonią:

1. Chwyt płaski (boczny), w którym palce chwytają przedmiot



a) schemat strukturalny ręki ludzkiej, b) schemat strukturalny ręki manipulatora. Możliwości ruchu ramienia robota odpowiadają dość wiernie możliwościom ruchu ramienia człowieka, natomiast dłoń ludzka jest nieporównywalnie bardziej złożonym organem niż łapa robota

o dwu równoległych powierzchniach – chwyt ten realizowany jest zwykle przez zacisk na przedmiocie kciuka i palca wskazującego (często wykorzystuje się powierzchnię boczną palca wskazującego).

2. Chwyt zaczepowy (hakowy), którym palce, oprócz kciuka, zaczepiają o krawędź lub inny wystający fragment przedmiotu – chwyt wykonany być może również pojedynczym palcem, na przykład wskazującym.

3. Chwyt końcami palców – stosowany przy pobieraniu przedmiotów bardzo małych, a polegający na zwarciu końców kciuka i jednego z palców (zwykle wskazującego lub serdecznego) na przedmiocie.

4. Chwyt dłonią, polegający na zacisku czterech palców (bez kciuka) na przedmiocie i dociskaniu go do wewnętrznej powierzchni dłoni.

5. Chwyt zaciskowy – stosowany zwykle przy prostych przedmiotach o kształcie cylindrycznym (długopis, wałek), polegający na zwarciu trzech palców, kciuka, palca wskazującego i serdecznego, na przedmiocie.

6. Chwyt sferyczny – stosowany przy chwytaniu przedmiotów o powierzchni kulistej, w którym wszystkie palce ułożone są symetrycznie na powierzchni chwytanego przedmiotu.

Można, oczywiście, ten sam przedmiot chwytać w różny sposób, lecz kształt przedmiotu, jego ciężar i wymiary jednoznacznie określają właściwy sposób uchwycenia. Człowiek uczy się chwytać poznając przedmioty oraz sposoby posługiwania się nimi. Później chwyta już nie zastanawiając się, jak należy ułożyć poszczególne palce.

Jedną z ważnych cech palców ludzkich jest możliwość odkształcania opuszków palców oraz nieodkształcalność paznokci. Wyposażenie robota w tak zbudowane palce przekazujące i odbierające dodatkowe informacje z centralnego układu sterowania, jakim u człowieka jest układ nerwowy i mózg, nie wydaje się obecnie możliwe.

W niektórych operacjach człowiek używa zwykle jednej ręki do wywierania siły, a drugiej do sterowania przedmiotem, na przykład przy wbijaniu gwoździa, używaniu śrubokręta itp. Koordynacja ruchów obu rąk jest również zadaniem złożonym, lecz pierwsze konstrukcje dwurękich robotów, przeznaczonych do montażu, zostały już opracowane.

Próby budowy protezy ręki podejmowano już w XVIII wieku. Wiele z tych dawnych protez miało dość złożoną strukturę kinematyczną. Mimo poczynionych postępów konstrukcyjnych sztucznym rękom daleko jednak jeszcze do doskonałości ich naturalnych wzorów. Prace nad budową protezy dłoni ściśle i bezpośrednio związane są z badaniami właściwości ludzkiej dłoni, a przede wszystkim jej struktury, siły chwytu oraz nacisku wywieranego przez poszczególne palce. Badania te, ze względu na złożoność organu chwytnego człowieka, nie zostały zakończone i nie wyjaśniono jeszcze wielu zjawisk związanych z takimi na przykład problemami, jak: rozróżnianie kształtu chwyconego przedmiotu, stopniowanie wartości siły chwytu w zależności od struktury powierzchni i ciężaru chwyconego przedmiotu itp.

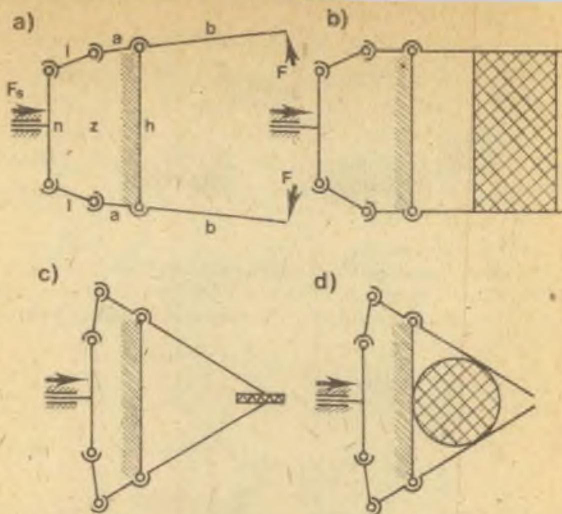
Struktura kinematyczna protezy dłoni różni się od struktury kinematycznej dłoni przede wszystkim ilością elementów układu kinematycznego, których w protezie jest zaledwie kilka. Proteza ma zwykle dwa lub trzy równocześnie napędzane palce. Siłowniki

do napędu mechanizmów protez mogą wywoływać ruch liniowy (postępowy) lub obrotowy; pierwszy realizowany bywa zwykle za pomocą siłowników pneumatycznych, a drugi za pomocą silników elektrycznych.

Konstrukcja protezy dłoni przechodziła wiele modyfikacji, ale w większości stosowanych rozwiązań występują takie same podstawowe mechanizmy: przekładnie zębate, śrubowe i dźwigniowe, napędzające zespół czterech palców i oddzielnie kciuk. Przy otwieraniu i zamykaniu dłoni następuje jednocześnie ruch palców i kciuka w przeciwnym kierunku. Na korpus nakłada się rękawiczkę gumową o pięciu palcach (niektóre z nich mają znaczenie jedynie estetyczne i nie są napędzane). Nowsze rozwiązania protez mają bardziej złożone mechanizmy, wzorowane na konstrukcji palców dłoni, a poszczególne człony protezy połączone są cięgnami z siłownikami.

W dotychczasowych zastosowaniach przemysłowych chwytak robota jest każdorazowo przystosowany do warunków procesu technologicznego. W zależności od parametrów technicznych przedmiotu stosuje się odpowiednie rozwiązanie konstrukcyjne urządzenia chwytającego. Konieczność przystosowania robota do przenoszenia obiektów o znacznie różniących się parametrach, na przykład kineskopów, płyt z tworzyw sztucznych, odlewów ciśnieniowych spowodowała, iż powstały konstrukcje urządzeń chwytających różniące się zasadą działania, zjawiskami fizycznymi zachodzącymi w procesie chwytania, schematami kinematycznymi itp. Spotyka się chwytaki o działaniu adhezyjnym, umożliwiającym chwytanie i przenoszenie przedmiotów wskutek wykorzystania sił przylegania (przyciągania) – mogą to być siły pola magnetycznego lub siły wywołane istnieniem ciśnienia atmosferycznego.

Innym rozwiązaniem jest chwytanie palcami wykonanymi z gumy lub ze sztucznego tworzywa. Elastyczne palce ze sztucznego tworzywa mają z jednej strony powierzchnię płaską, a z drugiej pofałdowaną. Doprowadzenie sprężonego powietrza do wnętrza palca powoduje jego wygięcie; wielkość ugięcia i siły



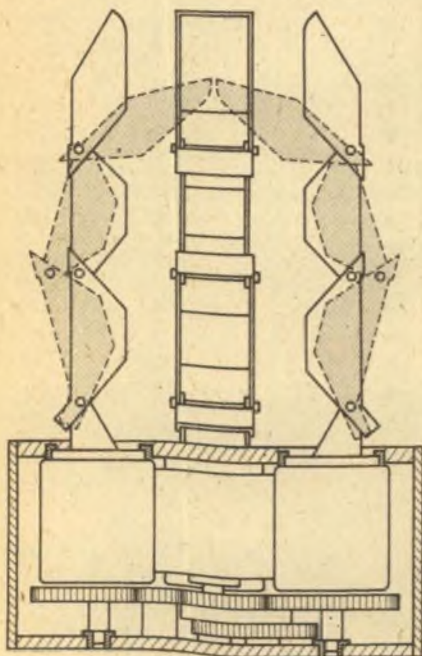
Chwytaki ze sztywnymi palcami mają ograniczoną możliwość chwytania. W przedstawionym układzie kinematycznym (a), w szczególnym przypadku, możliwe jest uchwycenie przedmiotów o dwu równoległych ścianach (b), przedmiotów drobnych końcami palców (c), najpewniejszym uchwyceniem jest jednak obejmowanie przedmiotu (d). Wartość siły chwytu F zależy od wartości siły z zespołu napędowego F_s oraz od parametrów konstrukcyjnych układu kinematycznego

chwytu zależy od konstrukcji palca oraz wartości podawanego ciśnienia. Takie urządzenia chwytające znalazły zastosowanie w przemyśle szklarskim, gdzie w procesach manipulacyjnych występują niewielkie wartości siły chwytu i nie jest wymagana wysoka dokładność pozycjonowana.

Najszersze zastosowanie znajdują jednak obecnie chwytaki mechaniczne ze sztywnymi palcami, gdyż stwarzają one możliwość przystosowania (przez wprowadzenie niewielkich zmian, na przykład wymianę nasadek na palce lub wymianę zespołu napędo-

wego) do przenoszenia obiektów o różnym ciężarze, wymiarach, kształtach i strukturze. Zapewniają też najkorzystniejsze warunki uchwycenia z żądaną siłą. Dotychczasowe rozwiązania konstrukcyjne chwytaków mechanicznych, mimo znacznego zróżnicowania układów kinematycznych nie mają cech uniwersalności. Wprawdzie niektórymi chwytakami można bez specjalnych

Konstrukcje uniwersalnej łapy robota. Do realizacji podstawowych chwytów wystarczająca okazała się trójpalcowa łapa z wieloczłonowymi palcami. Każdy palec posiada indywidualny napęd elektryczny, a poszczególne człony poruszane są cięgnami – palce mogą się zginać do wewnątrz oraz na zewnątrz



zmian w konstrukcji chwytać przedmioty o różnych kształtach, lecz zakres zmian wymiarów jest niewielki.

Dotychczasowy rozwój konstrukcji urządzeń chwytających robota przebiegał raczej w kierunku specjalizacji (przystosowanie do określonego obiektu manipulacji), niż w kierunku uniwersalności. Współczesne chwytaki mają zwykle jeden wzorzec chwytania, a więc ich zdolność chwytania przedmiotów o rozmaitych kształtach i wymiarach jest ograniczona. O uniwersalności chwytaka (łapy) decyduje układ połączeń poszczególnych członów oraz ich napędy. Uniwersalna łapa, zdolna do chwytania przedmiotów sześcioma wymienionymi uprzednio sposobami, powinna mieć minimalną liczbę ruchomych części, niezawodny układ napędowy oraz powinna chwytać wszystkie bryły o podstawowych kształtach geometrycznych (pryzmy o przekrojach prostokątnym i trójkątnym, kule i walce).

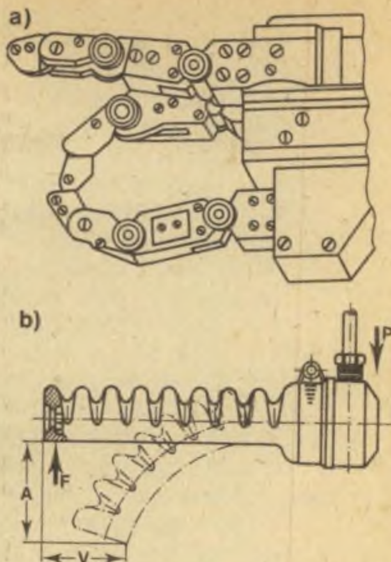
Z dotychczasowych badań nad budową łapy uniwersalnej wynika, że będzie ona mieć trzy palce – każdy złożony z trzech członów. Rozważa się różne możliwości napędowe; prawdopodobnie będzie napędzana silniczkami elektrycznymi, a na poszczególne człony napęd przekażą miniaturowe wielokrążki i cięgna (wadą cięgien jest konieczność utrzymywania wysokich naprężeń, aby osiągnąć duże siły chwytu). Trójpalcowa łapa mechaniczna może realizować chwyt końcami palców, chwyt zaciskowy oraz chwyt dłonią. Przy odpowiednich wymiarach przedmiotów można również wykonywać i pozostałe rodzaje chwytów. Taka trójpalcowa, wieloczłonowa łapa mechaniczna może realizować tak zwany chwyt rozparty, polegający na rozwarciu palców wewnątrz przedmiotu i jego sztywnym przytrzymaniu. Człowiek rzadko stosuje takie chwyty, dla robota zaś obojętne jest, którą powierzchnią palców chwyta. Duże przedmioty, których nie można objąć palcami łapy mechanicznej, należałoby tak zaprojektować, aby miały standardową powierzchnię cylindryczną do wkładania palców.

Nie wszystkie jednak problemy związane z budową uniwersalnej łapy robota zostały już rozwiązane. Obok zagadnień mechani-

cznych nie zbadano jeszcze czujników oraz układów sterowania siłą chwytu. Nikt jeszcze nie obliczył również, czy do zastosowań przemysłowych tańsze jest skonstruowanie kilkuset różnych chwytaków przystosowanych do chwytania określonych obiektów, czy też budowanie jednej łapy uniwersalnej. Chwytaki są proste, a więc tanie i pewne w działaniu, łapy zaś bardziej złożone i droższe, ale eliminują potrzebę zakładania i zdejmowania chwytaka. Uniwersalne łapy musi mieć robot przeznaczony do manipulowania wieloma obiektami o różnych parametrach fizycznych i geometrycznych.

Jak już wyżej wspomnieliśmy uczeni i konstruktorzy przekonani są, że robot nie będzie człekokształtny. Będzie on pracował w środowisku przystosowanym w znacznej mierze do człowieka, zatem jego funkcje ruchowe muszą być zbliżone do możliwości ruchowych człowieka. Tę zasadę należy przyjąć przy rozpatrywaniu budowy robotów o ogólnym przeznaczeniu. A więc zasięg ramion, możliwości uchwycenia i manipulowania, wartości sił chwytu, parametry dynamiczne (np. maksymalna szybkość przy dopuszczalnym obciążeniu) powinny być zbliżone do poziomów osiąganych przez człowieka. Ramię robota powinno wykonać bezawaryjnie w ciągu trzech miesięcy pracy około 200 000 ruchów. Stawia to wysokie wymagania takim mechanizmom robota, jak połączenia poszczególnych jego członów oraz układ napędowy.

Najnowsze rozwiązania konstrukcyjne robotów posiadają wyłącznie napęd elektryczny. Do niedawna konieczność pracy w stanie zwarcia stanowiła ograniczenie stosowania silników elektrycznych. Na przykład jeżeli robot chwycił przedmiot i trzymał go z określoną siłą przez cały czas procesu manipulacji, to silnik powinien wtedy pracować, a jednocześnie nie obracać się. Niedogodności tej nie mają napędy pneumatyczne i hydrauliczne. W takich przypadkach utrzymywane jest stałe ciśnienie. Zespoły napędowe, zarówno hydrauliczne, jak i pneumatyczne, zawierają typowe siłowniki – tłoczysko przemieszczające się w cylindrze. Wszystkie ruchy prostoliniowe łatwo w tym przypadku uzyskać



Uniwersalna łapa robota powinna mieć właściwości chwytne zbliżone do ludzkiej dłoni – próbuje się to osiągnąć poprzez konstrukcje dłoniopodobne (a), zawierające kilka wieloczłonowych palców albo kilka elastycznych palców (b). Palce wieloczłonowe poruszane są zwykle cięgnami, natomiast elastyczne palce odkształcają się pod wpływem podania do wnętrza sprężonego powietrza

łącząc wybrany element robota bezpośrednio z tłoczyskiem lub obudową – przy nieruchomym tłoczysku. Natomiast ruchy obrotowe uzyskuje się za pomocą układu: zębatka – koło zębate.

Obecnie zarówno napęd pneumatyczny, jak i hydrauliczny są z powodzeniem stosowane w robotach przemysłowych. Napęd pneumatyczny ma przewagę w wysokim współczynniku mocy do wagi. Głównymi niedogodnościami zastosowania tych napędów

jest konieczność magazynowania energii, to znaczy – pojemników sprężonych gazów oraz cieczy hydraulicznych.

Duże nadzieje wiązano z zastosowaniem do napędów układów manipulacyjnych tak zwanych mięśni Mc Kibbena, które wykonuje się z tworzyw sztucznych, w postaci rurek pokrytych splotem nici nylonowych. Kiedy rura zostaje napełniona gazem, jej długość ulega skróceniu do jednej trzeciej. Niestety, uzyskiwana z tych mięśni moc nie jest wielka i maleje, im bardziej ten pneumatyczny mięsień jest skrócony.

Wybór rodzaju napędu robota związany jest głównie z założonym maksymalnym udźwigiem, ale również ważne są inne parametry: prędkość działania, dokładność, powtarzalność pracy itp. Dla robotów o małym udźwigu stosuje się napęd elektryczny oraz pneumatyczny, dla robotów o większym udźwigu – napęd hydrauliczny.

Wyłączając niektóre szczególne przypadki pracy robota, gdy wykonuje on ruchy od jednego skrajnego położenia do drugiego, w przypadku ogólnym niezbędne jest dokładne określenie aktualnego położenia poszczególnych elementów wykonawczych. Jeżeli więc ręka robota składać się będzie z kilku członów z indywidualnym napędem, to każdy z tych członów powinien posiadać własny system pomiaru położenia. Obecnie końcowe położenie na przykład chwytaka określane jest na podstawie odpowiednich obliczeń położeń poszczególnych elementów łańcucha kinematycznego. Jest to niewygodny i niedokładny system pomiarowy, różny od stosowanego przez człowieka, gdzie końcowe położenie chwytanego lub przenoszonego przedmiotu określane jest za pomocą wzroku. Obecnie stosuje się wiele różnych systemów pomiarowych, na przykład potencjometryczny, w którym przemieszczenie liniowe lub kątowe zamieniane jest na proporcjonalne do niego napięcie prądu. Najczęściej stosuje się przetworniki, których wielkością wyjściową jest liczba impulsów, proporcjonalna do przemieszczenia; takie układy zastosowano na przykład w pojazdach kosmicznych, w których układy logiczne decydują o kierunku i szybkości obrotu poszczególnych kół.

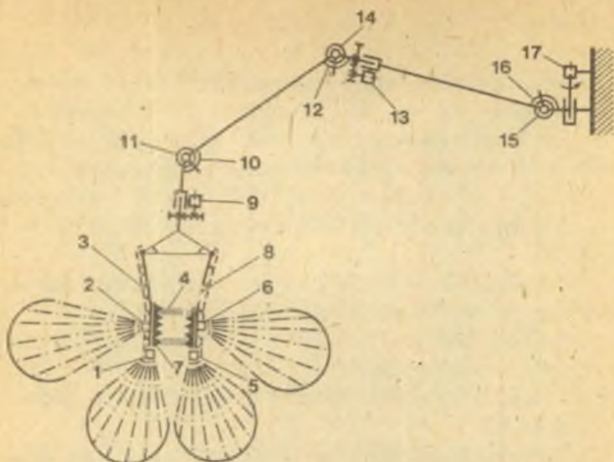
Zmysły robota

Robot musi aktywnie współpracować z otaczającym środowiskiem, wykorzystując bowiem informacje o stanie swoich własnych organów wykonawczych i o stanie otoczenia, będzie mógł prawidłowo wykonywać zlecane mu zadania. Niezbędne informacje robot uzyskuje za pomocą układów czujnikowych (urządzeń sensorycznych) stanowiących odpowiedniki naszych zmysłów, które:

- umożliwiają jego funkcjonowanie (tzw. czujniki wewnętrzne, połączone bezpośrednio z mechanizmami robota),
- umożliwiają współpracę z maszynami technologicznymi oraz urządzeniami pomocniczymi (do zastosowań przemysłowych),
- umożliwiają pobieranie informacji o stanie wybranych parametrów otoczenia,
- służą do zapewnienia bezpieczeństwa, zarówno dla jego konstrukcji, jak i dla otoczenia.

Ze względu na cechy funkcjonalne urządzeń sensorycznych wyróżnia się czujniki dotyku, zbliżenia, przemieszczenia, sił i naprężeń, czujniki wizyjne – optyczne i telewizyjne – oraz inne, na przykład temperatury. Czujniki tego samego typu mogą być wykorzystywane do realizacji różnych zadań i to samo zadanie może być realizowane dzięki zastosowaniu różnych czujników. Na przykład mikroprzełącznik może być czujnikiem wewnętrznym, określającym krańcowe położenie ramienia robota, i może być czujnikiem zewnętrznym, sygnalizującym na przykład uchwycenie przedmiotu albo dojście chwytaka do przeszkody. Również czujniki siły wykorzystywane być mogą w układach zabezpieczających robota przed uszkodzeniem i w układach sterowania procesami montażowymi, w których wartości sił niosą wiele informacji o wzajemnym położeniu detali.

Chwytak umieszczony na końcu ramienia robota jest urządzeniem poruszającym się w przestrzeni podczas wykonywania zadanych czynności manipulacyjnych i z tego względu jest organem najbardziej przydatnym do przyjmowania informacji o bez-



Ramię i łapa robota muszą być wyposażone w różnego rodzaju czujniki, umożliwiające kontrolę aktualnego położenia poszczególnych członów oraz zbieranie określonych informacji. Na przykład w obrotowych stawach ramion umieszczone być mogą czujniki potencjometryczne (9, 10, 12, 13, 16, 17), określające położenie kątowe dwóch członów, oraz czujniki siły (11, 14, 15) mierzące naprężenie występujące w poszczególnych członach. Bliską obecność przedmiotu rejestrują czujniki (1, 2, 5, 6), natomiast dotknięcie wyczuwają elementy umieszczone na obwodzie łapy (3, 8), czujnik fotooptyczny (4) rejestruje obecność obiektu wewnątrz łapy, a czujnik (7) mierzy siłę chwytu

pośrednim otoczeniu robota (np. czy na trasie ruchu występują przeszkody).

Znanych jest bardzo wiele różnych, przeznaczonych nie tylko dla robota, rozwiązań konstrukcyjnych czujników do wykrywania zmian parametrów środowiska. Obecna technika stwarza warunki do wyposażenia robota we wszystkie niezbędne do pracy czujniki: fotokomórki i układy telewizyjne spełniające rolę oczu, mikrofony stosowane jako uszy robota, czujniki dotyku lub

czujniki oceniające odległość od przeszkód: pojemnościowe, ultradźwiękowe czy też radarowe.

Możliwość przyjmowania oraz przekazywania informacji z otoczenia zależy od liczby i rodzaju wykorzystywanych czujników. Czujniki mogą być zainstalowane w różnych zespołach samego robota lub w określonych punktach jego otoczenia.

Nie ma potrzeby wyposażania robotów we wszystkie tak uniwersalne organy spostrzegania, jakimi posługuje się człowiek. Robot przeznaczony jest do wykonywania pewnego typu prac – potrzebne są mu więc tylko informacje z tą pracą związane. Natomiast niektóre czujniki mogą pracować w rozszerzonym (w stosunku do człowieka) lub przesuniętym zakresie pracy, na przykład w podczerwieni. Bardzo ważnym i trudnym zadaniem jest określenie wszystkich parametrów niezbędnych do wykonania konkretnej pracy oraz ustalenie zakresu zmian tych parametrów, związany jest z tym bowiem wybór czujników o odpowiednich charakterystykach. Organy robota, w które zostanie on wyposażony, mogą być lepiej przystosowane do określonej pracy niż zmysły człowieka i w związku z tym robot może zleconą mu pracę wykonać lepiej niż człowiek. Na przykład czujniki temperatury są bardziej wrażliwe niż skóra ludzka na zmiany tego parametru.

Zmysł dotyku

Dysponując jedynie zmysłem dotyku, człowiek może z powodzeniem realizować następujące zadania:

- określić dokładnie położenie (umiejscowienie i kierunek ustawienia) przedmiotu po przeszukaniu dłonią określonego obszaru,
- rozpoznać kształt przedmiotu,
- chwycić z właściwą siłą przedmioty o różnych wymiarach, strukturze powierzchni i ciężarze.

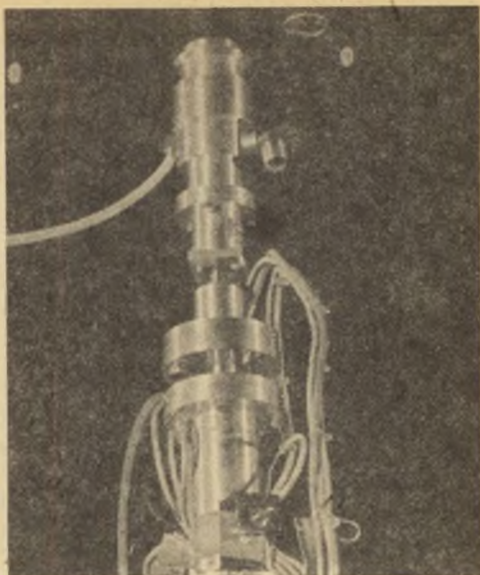
Zmysł dotyku człowieka dostarcza jednak nie tylko informacji o dotknięciu powierzchnią skóry do powierzchni przedmiotu,

lecz również o tym, czy jest to przedmiot zimny, czy też gorący, czy dotknięcie sprawia nam ból, a także informacji o tym, jak duży nacisk wywiera palec na powierzchnię przedmiotu. Zmysł dotyku wykazuje cztery różne wrażenia, w skórze ludzkiej występują więc cztery różnego rodzaju receptory. Cechą charakterystyczną skóry ludzkiej jest również to, że skupienie różnych typów receptorów nie jest jednakowe na poszczególnych częściach ciała, i niektóre części są bardziej wrażliwe na ból, a inne bardziej wrażliwe na zimno.

Prawdopodobnie nie wszystkie cztery funkcje zmysłu dotyku będą równocześnie potrzebne robotowi, lecz nie można wykluczyć przydatności żadnej z nich. Nawet tak typowe dla człowieka uczucie bólu może dla układu sterowania robota oznaczać na przykład zbytnie obciążenie lub inne niebezpieczeństwo (uderzenie o przeszkodę sygnalizowane może być przez czujnik siły). Obecnie najbardziej pożądane w zastosowaniach przemysłowych jest wykrywanie nacisku, jednak spotyka się również w chwytakach czujniki temperatury – na przykład w procesie kucia na gorąco, po zbytnim nagrzaniu się palców chwytaka, robot studzi je w zbiorniku z zimną wodą.

Konstruktorzy robotów spodziewają się – a pierwsze eksperymenty naukowe to potwierdzają – że czujniki dotyku umieszczone w chwytaku umożliwią również robotowi określenie położenia przedmiotu, rozpoznanie jego kształtu oraz jego prawidłowe uchwycenie. Z powodzeniem przeprowadzono eksperymenty związane ze współpracą czujników dotykowych z czujnikami telewizyjnymi – w takich złożonych układach sensorycznych za pomocą kamer telewizyjnych określone zostaje orientacyjne położenie i ukierunkowanie przedmiotu, a za pomocą czujników dotykowych zostają zebrane o nim dokładniejsze dane umożliwiające na przykład prawidłowe uchwycenie.

Czujniki dotyku umieszcza się zarówno na powierzchni zewnętrznej chwytaka (umożliwia to wykrywanie obecności przeszkody lub znajdującego się na drodze ruchu przedmiotu), jak i na stronie wewnętrznej palców chwytaka (umożliwia to zbieranie



Rozpoznawanie kształtu za pomocą czujnika wizyjnego: a) widok czujnika, b) przetworzenie obrazu, kontury przedmiotów

informacji o uchwyconym przedmiocie oraz kontrolę jego obecności w chwytaku).

Jako czujniki dotyku można z powodzeniem stosować różnego rodzaju przełączniki z metalowymi stykami, na przykład mikroprzełączniki, w których pod wpływem dotknięcia do przedmiotu następuje zmiana styku (styk zwarty lub rozwarty). Zwrotny mechanizm sprężynowy zapewnia powrót do stanu pierwotnego po odsunięciu czujnika od przedmiotu. Mechanizm ten stwarza pewne opory przy dotykaniu czujnika do powierzchni i niezbędne

jest określenie wartości progowej siły powodującej zmianę stanu styku. Ta wartość progowa siły w omawianych czujnikach jest zwykle stała, lecz może być różna dla poszczególnych rozwiązań konstrukcyjnych czujników dotyku. W układach określania położenia i rozpoznawania kształtu przedmiotu stosuje się zwykle wielosegmentowe czujniki dotyku, zawierające po kilka lub kilkanaście czujników rozmieszczonych na płaszczyźnie.

Palce chwytaków robota pokrywa się elastycznym materiałem zawierającym kilkadziesiąt miniaturowych czujników nacisku, grafitem lub innym materiałem przewodzącym – sproszkowanym lub zawieszonym w tworzywie. Początkowo używano do tego celu proszku grafitowego (o średnicy około 10 μm) umieszczanego luzem w odpowiednim elastycznym pojemniku; pod wpływem dotyku następuje ściśnięcie warstwy grafitu, zmienia się oporność i następuje odpowiedni wzrost prądu. W przyszłości w robotach zastosowane będą tak zwane elastomery – tworzywa sztuczne przewodzące prąd. Elastomer składa się z naturalnego kauczuku lub gumy silikonowej, w której znajdują się cząstki grafitu lub metalu (miedź, srebro i inne). Warstwa elastomeru umieszczonego między dwiema elektrodami zmienia swoją oporność pod wpływem nacisku.

Być może nie tylko w chwytaku, lecz także w różnych punktach korpusu robota umieszczony będzie czujnik dotyku „z wąsem", to znaczy z cienkim sprężystym drutem uginającym się przy zetknięciu z przeszkodą (ostrzem lub bokiem) i zwierającym w ten sposób obwód elektryczny. Ponieważ informacje z tego czujnika potrzebne są tylko w chwili zbliżania się do przeszkody, więc tylko w tym czasie wąs jest wysunięty z czujnika, natomiast w stanie spoczynku wąs jest schowany.

Zbliżenie do przedmiotu (przeszkody) człowiek ocenia na podstawie obserwacji wzrokowej (w szczególnych okolicznościach możemy odczuwać ciepło przy zbliżaniu się do źródła wysokiej temperatury i wykrywać różnice w natężeniu dźwięku przy zbliżaniu się do źródła dźwięku). Robota natomiast można wyposażyć w układy czujnikowe, które z powodzeniem wykry-

wać będą fakt zbliżania się do przedmiotu lub sygnalizować zbliżenie się na określoną odległość. Czujniki zbliżenia mogą spełniać ważną rolę przy:
- określaniu stanu otoczenia robota,
- zabezpieczeniu robota przed uderzeniem w przeszkodę,
- wyznaczeniu położenia (rzadziej określaniu kształtu) przedmiotu.

Istnieje wiele różnych rozwiązań konstrukcyjnych czujników zbliżenia, wykorzystujących zjawiska zmiany indukcyjności, odbicia promienia świetlnego albo fali ultradźwiękowej itp. Przetworniki indukcyjne mogą być stosowane jako czujniki zbliżenia przy chwytaniu przedmiotów ferromagnetycznych. Zasada działania optycznych czujników zbliżenia polega na pomiarze intensywności odbitego promieniowania świetlnego. Nie określa ona jednak jednoznacznych wyników przy różnorodnym stanie powierzchni, różnych kształtach przedmiotów oraz różnym oświetleniu otoczenia. Najczęściej stosuje się ultradźwiękowe czujniki zbliżenia, w których rejestruje się również sygnały odbite od powierzchni przedmiotu. Czujniki te są bardziej niezawodne, mimo takich wad, jak minimalny kąt ustawienia przeszkody (10°) i różne tłumienie fal ultradźwiękowych przy przejściu przez różne środowiska.

W układach sterowania siłą chwytu znalazły zastosowanie czujniki dotyku z dodatkową funkcją – sygnalizacją przemieszczenia przedmiotu między palcami chwytaka. To przemieszczenie wykrywano różnymi sposobami, na przykład wykorzystując przetworniki przemieszczenia kątowego, przetworniki drgań itp. Pierwszy rodzaj czujników posiada zamocowaną obrotowo w palcach chwytaka rolkę, zwykle pokrytą gumą dla lepszego kontaktu z przedmiotem. W czasie przemieszczania się (poślizgu) przedmiotu rolka toczy się po jego powierzchni i ten obrót przekształcany jest na impulsy elektryczne za pomocą przetworników magnetycznych lub optycznych. W pierwszym przypadku w obracającej się rolce umieszczone są na obwodzie elementy magnetyczne, które oddziaływają na układ odczytujący. W drugim natomiast

przypadku po obu stronach rolki (posiadającej odpowiednie otwory) umieszczone są żarówka i fotoelement – obrót rolki powoduje przerwanie promienia świetlnego. Częstotliwość przesyłania sygnałów zależy od częstotliwości przemieszczania się rolki i od liczby umieszczonych na niej otworów.

Często jako czujniki dotyku wykorzystuje się przetworniki siły z nastawianą wartością progową zadziałania. Spodziewać się należy, że przetworniki siły będą wykorzystywane do realizacji takich zadań, jak:

- określenie wzajemnego ustawienia łapy robota i przedmiotu,
- sterowanie siłą chwytu,
- określenie interakcji między przedmiotem a otoczeniem,
- sygnalizowanie przeciążeń wybranych elementów robota.

Obecnie jako czujniki siły stosuje się najczęściej tensometryczne elementy oporowe naklejane w odpowiednich miejscach robota (np. palce, ramię). Najprostszym rozwiązaniem konstrukcyjnym przetwornika jest belka pracująca na zginanie, umożliwiająca pomiar sił działających prostopadle do zginanej płaszczyzny. Pomiaru dwóch składowych siły dokonać można przez połączenie dwu odpowiednio ustawionych belek. Do pomiaru sił (i momentów sił) działających przestrzennie opracowano specjalne konstrukcje. Taki pierścieniowy przewodnik siły umieszczony jest zwykle między łapą a ramieniem robota. Przetwornik taki ma kształt cylindra, którego ściana została wycięta w ten sposób, że pozostawiono trzy płytki, na których po obu stronach naklejono tensometry.

Zmysł wzroku

Najwięcej informacji o środowisku zewnętrznym człowiek odbiera wzrokiem. Dzięki wzrokowi poznajemy otoczenie, rozpoznajemy poszczególne przedmioty i określamy ich położenie oraz kontrolujemy zorientowanie przedmiotów przy posługiwaniu się nimi (np. przy rysowaniu ołówkiem). System wzrokowy umożliwia nam rozpoznanie liter i innych znaków drukarskich,

umożliwia rozpoznawanie i rozróżnianie kształtu i koloru, umożliwia widzenie przestrzenne.

Wzrok jest najbardziej złożonym zmysłem człowieka. Ocenia się, że na ogólną liczbę $3 \cdot 10^8$ neuronów aż 2/3 związanych jest ze zmysłem wzroku (np. z dotykiem związanych jest $5 \cdot 10^5$ neuronów, a ze słuchem $3 \cdot 10^3$ neuronów). Wszystkie informacje wzrokowe odbierane są przez oko, ale do mózgu przekazywana jest tylko jedna setna część. Wyeliminowane zostają zakłócenia i zniekształcenia, a docierają tylko informacje najważniejsze. Te właśnie informacje powodują, że z mózgu wydawane są rozkazy dotyczące wyboru kierunku patrzenia, ogniskowania itp.

Nie należy spodziewać się, że kiedykolwiek roboty zostaną wyposażone w taki system wzrokowy, jakim dysponuje człowiek, ale i proste czujniki optyczne mogą znacznie poszerzyć zakres zastosowań robotów, umożliwić wykonywanie przez nie określonej pracy w różnych sytuacjach, rozpoznawanie w otoczeniu przedmiotów poddawanych czynnościom manipulacyjnym. Optyczny czujnik obecności składa się z pary elementów: źródła promieniowania i fotodetektora. W zależności od wzajemnego usytuowania tych elementów czujnik optyczny generuje odpowiednie sygnały albo wskutek przerwania linii światła, albo wskutek odbicia promieni, wysyłanych przez źródło światła, od powierzchni wykrywanego przedmiotu. Dzięki małym wymiarom źródeł światła oraz fotokomórek czujniki optyczne umieścić można w palcach łapy robota, a ich szybkość działania umożliwia wykorzystanie informacji z czujników optycznych w układach sterowania procesom chwytania. W porównaniu z czujnikami dotykowymi czujniki optyczne mają również tę zaletę, iż umożliwiają uzyskanie informacji o zbliżaniu się do przedmiotu (lub do przeszkody), a więc mogą być wykorzystywane w układach sterowania ruchem łapy, na przykład do zatrzymania ruchu ramienia robota w celu zapobieżenia zderzeniu się z przedmiotem, którego obecność została zasygnalizowana.

Niestety, mimo prostoty działania czujników optycznych ich szerokie zastosowanie w mechanizmach robotów przemysłowych

napotyka trudności związane ze zmianami strumienia świetlnego, padającego na układ odbiorczy czujnika, które obserwujemy przy poruszaniu się robota, zmieniającym się oświetleniu, w ciągu dnia czy też przypadkowym błyskom światła. Poza tym poszczególne przedmioty mają różną zdolność odbijania światła. Te wszystkie „szumy świetlne", nie pochodzące od wykrywanego przedmiotu, mogą powodować błędne reakcje czujnika.

Czujniki optyczne umożliwiają robotowi:
- wykrywanie obecności przedmiotu,
- wyznaczanie odległości łapy od przedmiotu,
- określenie położenia (zorientowania) przedmiotu,
- zmierzenie charakterystycznych parametrów przedmiotu, na przykład jego średnicy,
- rozpoznanie kształtu przedmiotu.

Obecnie zamiast pojedynczych czujników stosuje się zwykle matryce fotodiodowe, zawierające po kilkadziesiąt czujników umieszczonych obok siebie. Matryce takie umieszczane są zarówno w łapie robota, jak i na stanowisku pracy robota, w miejscu gdzie dostarczane są przedmioty. Analiza obrazu uzyskiwanego z matrycy fotodiodowej umożliwia rozpoznanie przedmiotu dostarczonego na stanowisko, a następnie zakwalifikowanie go do odpowiedniej grupy. W przemysłowych zastosowaniach spotyka się również bardzo proste kilkuelementowe matryce, na których robot kontroluje prawidłowość wykonania określonych operacji technologicznych (np. wiercenie otworów w płytce) albo też rozróżnia przedmioty przenoszone transporterem podwieszonym. Na przykład przy malowaniu natryskowym przedmiotów o różnych wymiarach i kształtach dzięki informacjom z układu czujników optycznych można automatycznie wybrać odpowiedni program ruchów łapy trzymającej malarski pistolet natryskowy.

W Japonii przeprowadzono badania związane z rozpoznawaniem przez robota kolorów. Zasada rozróżniania kolorów jest prosta: zależnie od koloru przedmiotu na układ trzech fotodiod pada przez filtry światło o różnym natężeniu, a więc i wyjście

prądowe z tych fotodiod jest różne. Po wzmocnieniu tego sygnału następuje przetworzenie go na sygnał cyfrowy i przesłanie do mikrokomputera. Po porównaniu z danymi o kolorach wzorcowych komputer rozróżnia kolor i przekazuje odpowiedni rozkaz do układu sterowania robotem. Zdolność robota do rozróżniania kolorów znajdzie duże zastosowanie w przemyśle (głównie w procesach montażowych).

Najbardziej złożonymi czujnikami optycznymi są kamery telewizyjne, w których obraz padający poprzez układ soczewek na ich ekran jest przetwarzany na sygnały elektryczne, odwzorowujące jasność poprzecznych linii obrazu. Strumień elektronów kierowany jest przez układ odchylający na kolejne poziome linie tworzące obraz, a napięcie wyjściowe uzyskiwane w poszczególnych punktach linii zależy od jasności oświetlenia padającego na warstwę fotoprzewodnika. Do dalszej obróbki zwykle przekazywany jest obraz w postaci cyfrowej, otrzymywany po przekształceniu napięcia wyjściowego w przetworniku analogowo-cyfrowym. Taki skwantowany obraz to ogromna ilość informacji (do współpracy z robotem stosuje się zwykle kamery o 625 liniach, a każda linia obrazu składa się z kilkuset punktów świetlnych o wielu stopniach szarości). W licznych ośrodkach naukowych próbuje się stworzyć sztuczny wzrok dla robota, ale uzyskanie praktycznych rezultatów związane jest z koniecznością rozwiązania wielu zagadnień z zakresu sztucznego intelektu. Dotychczas nie opracowano skutecznych metod analizy obrazu, podziału obrazu na części (odpowiadające na przykład różnym przedmiotom), wydzielenia cech charakterystycznych tego obrazu, identyfikacji przedmiotów, określenia odległości itp. Trudnym problemem jest samo wyszukanie przedmiotu w otoczeniu robota. Uzyskanie prawidłowej jakości obrazu za pomocą kamery telewizyjnej wymaga zmiany jej ogniskowej, przysłony, filtru oraz pomiaru położenia kamery.

Wszystkie te czynności powinien samodzielnie wykonać robot.

Zastosowanie kamer telewizyjnych w systemach wizyjnych robota jest niezwykle interesującym zagadnieniem. Przeprowa-

dzono już wiele eksperymentów w tej dziedzinie. Na przykład w japońskim robocie „Wabot", który jest dwunożną maszyną kroczącą, system zbierania informacji wzrokowej składa się z dwóch kamer telewizyjnych, wbudowanych w korpus robota. Mechanizm kamer telewizyjnych połączony jest z układem ogniskującym oraz układem poszerzającym kąt widzenia kamer przy małych odległościach. Szukając przedmiotu, korpus „Wabota" obraca się. Gdy w polu widzenia kamery znajdzie się poszukiwany przedmiot, wówczas korpus przestaje się obracać. Na podstawie pomiaru kąta skręcenia korpusu względem nóg określony zostaje kierunek kroczenia robota, a na podstawie porównania obrazów z obu kamer (przy znanym ich rozstawieniu) obliczona zostaje odległość robota od przedmiotu. W Japonii przeprowadzono również eksperymenty z pracą systemu: sztuczne oko – łapa robota, przy sortowaniu przedmiotów według kształtu. System ten działał w następującym cyklu:

1. ustawienie łapy w polu widzenia;
2. dokonanie wstępnej analizy obrazu: wydzielenie przedmiotu z tła, określenie jego bliższych danych (analiza ciemniejszych i jaśniejszych fragmentów, wydzielenie konturu przedmiotu);
3. dokonanie szczegółowej analizy obrazu poprzez aproksymację konturu liniami prostymi i wydzielenie wierzchołków, obliczenie kątów nachylenia linii konturowych, obliczenie długości linii;
4. rozpoznanie przedmiotu, określenie jego położenia i zorientowania przestrzennego, określenie szerokości przedmiotu;
5. wybór programu sortowania;
6. wykonanie operacji sortowania.

Po rozpoznaniu przedmiotu automatycznie określone zostaje, czy jest możliwe uchwycenie przedmiotu, a także wyznaczony zostaje kierunek ustawienia łapy i takie jej położenie, aby przedmiot został prawidłowo uchwycony (palce łapy powinny być ustawione równolegle do płaszczyzny chwytanego przedmiotu).

Badania naukowe zmierzają w kierunku nawiązania „dialogu" człowieka z maszyną, trzeba zatem skonstruować układy pełniące u robota funkcje słuchu i mowy. Ponieważ używanie głosu jest dla człowieka naturalnym sposobem porozumiewania się, należy spodziewać się, że robot również będzie otrzymywał rozkazy wydawane za pomocą głosu oraz tą drogą będą uzyskiwane od niego informacje.

Rozwiązano już problem rozpoznawania pojedynczych słów oraz prostych zwrotów. Zbudowano więc eksperymentalne układy sterowania głosem w maszynowni statku, w windzie, na lotniskach przy rozprowadzaniu bagażu, w fabrykach itp. Przy automatycznym sortowaniu przesyłek pocztowych zastosowano systemy rozpoznające nazwy dziesięciu cyfr; pracownik wrzucając list na taśmę odczytuje głośno numer kodu pocztowego, a maszyna steruje dalszym biegiem przesyłki, doprowadzając ją do odpowiedniego pojemnika.

Rozpoznawanie mowy polega nie tylko na rozróżnianiu pojedynczych słów, lecz również na rozumieniu ich znaczenia w wypowiadanych zdaniach. Słowo mówione składa się ze zgłosek. Każda zgłoska jest mieszaniną dźwięków o różnych częstotliwościach, w tym również częstotliwości rezonansowych, charakterystycznych dla danego głosu, związanych między innymi z powierzchnią i kształtem jamy ustnej. Często podczas mowy głoski występujące obok siebie, łączą się w ten sposób, że nie można ich rozróżnić, a w każdym razie nie potrafi tego robić maszyna. Przy automatycznym rozpoznawaniu dźwięku dzięki odpowiednim filtrom rozdziela się częstotliwości, które następnie przekształca się na kod cyfrowy. Taki cyfrowy zapis słowa porównywany jest z zapisem słów wzorcowych przechowywanych w pamięci maszyny. Po stwierdzeniu zgodności słowa przesłane jest ono do pamięci operacyjnej, po czym wykonana zostaje określona czynność.

W zakładach amerykańskiej firmy komputerowej IBM opracowano ostatnio program dla maszyny, która „rozumie" zdania,

złożone z 25 słów, utworzone z 1000-wyrazowego słownika. Na razie maszyna ta reaguje tylko na głos konkretnego człowieka i wymaga dwóch godzin treningu dla poznania każdego głosu. Proces rozpoznawania zdania jest jednak powolny – trwa on 200 razy dłużej niż jego wypowiedzenie.

Pełne rozumienie ludzkiej mowy jest na razie niemożliwe dla urządzeń automatycznych – konieczne jest bowiem do tego rozumienie języka oraz znajomości kontekstu wypowiedzi. Nad problemem tym pracują zarówno językoznawcy, jak i matematycy oraz elektronicy. Celem ich prac jest doprowadzenie do dialogu człowieka z maszyną.

Mózg robota

Budowa mózgu robota stanowi najciekawszy dotychczas nie rozwiązany problem konstrukcyjny. Do wypracowania odpowiednich decyzji wykorzystywane są elektroniczne maszyny cyfrowe, które interpretują sens wrażeń odbieranych z urządzeń sensorycznych i porównują je z instrukcjami zawartymi w pamięci maszyny.

W ostatnich latach zbudowano wiele złożonych układów realizujących różne funkcje sterowania. Stosuje się na przykład hierarchiczne struktury układów sterowania, tzn. takie, w których główne sygnały wypracowane są w jednostce centralnej i przesłane do układów podporządkowanych. Duża liczba czujników określających stan środowiska oraz własny stan robota umożliwia mu wprowadzanie korekcji na różne poziomy układu sterowania. Na przykład w opracowanych obecnie układach sterowania komputerowego wyróżnia się trzy poziomy sterowania: rodzaju wykonywanej pracy, rodzaju ruchu łapy oraz położenia końcowego łapy robota. W robotach przemysłowych stosuje się znacznie uproszczone układy sterowania, umożliwiające zapisanie i odtworzenie żądanego cyklu pracy.

6 INTELEKT ROBOTA

Dotychczas nie bardzo wiadomo, na czym polega istota inteligencji człowieka, nie wiadomo, w jaki sposób ona powstaje, jakie są mechanizmy wywołujące działanie określane jako inteligentne. Komputery, które zdolne są do przetwarzania dużej liczby złożonych danych, nie mogą być nazwane maszynami inteligentnymi, gdyż nie mają umiejętności daleko idącej adaptacji, uczenia się własnych algorytmów, nie mają także zdolności samoprogramowania się.

Problem sztucznego intelektu od wielu lat rozwiązywany jest niezależnie od rozwoju robotów. Wiele czynności wykonywanych przez rozumne maszyny nie wymaga jakichś określonych manipulacji. Maszyny wyposażone w sztuczny intelekt mogą odpowiadać na pytania, rozwiązywać złożone problemy – mogą realizować procesy myślowe człowieka.

Sztuczny intelekt charakteryzują następujące umiejętności:
- tworzenie modelu środowiska (otoczenie robota),
- wykorzystanie modelu do opracowania planu działania,
- zawarcie w planach działania alternatywnych możliwości osiągnięcia celu,
- umożliwienie zmiany planu działania, jeżeli w trakcie jego realizacji nastąpią nieprzewidziane zmiany środowiska,
- wykorzystanie własnych doświadczeń w dalszym postępowaniu.

Można zatem stwierdzić, że sztuczny intelekt to system dysponujący możliwością zdobywania i korygowania wiedzy na podstawie przyjmowanych informacji o środowisku i zdobytego doświadczenia, a także wykorzystania tej wiedzy w ukierunkowa-

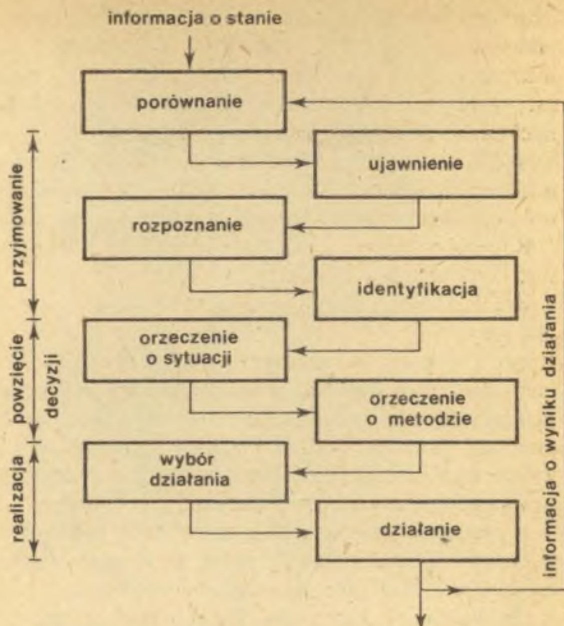
nym działaniu do osiągnięcia celu. Na drodze od przyjęcia informacji do realizacji zadania jest wiele etapów pośrednich: informacja musi być ujawniona, rozpoznana i zidentyfikowana (np. wyróżnienie rozkazu słownego spośród wielu wypowiedzianych zdań). Następnie podjęta zostaje decyzja – w tym celu trzeba ocenić sytuację oraz wybrać metodę działania. Ostatni etap – realizacja – polega na wyborze konkretnego rodzaju działania oraz wykonaniu zadania.

Robot inteligentny powinien mieć trzy współpracujące ze sobą systemy: informacyjny, decyzyjny i wykonawczy.

Źródłami informacji dla inteligentnych robotów jest człowiek oraz otaczające środowisko, w tym również urządzenia współpracujące z robotem. Naturalnym dla człowieka środkiem porozumiewania się jest mowa, z tego względu buduje się systemy pojmowania mowy ludzkiej przez roboty. Takie systemy muszą przeanalizować wprowadzany tekst, przetworzyć go na język wewnętrzny, a następnie wygenerować prawidłową odpowiedź słowną lub wykonać zlecone zadanie.

System decyzyjny robota inteligentnego składa się z trzech głównych bloków: wiedzy (pamięci), planowania działania i realizacji planów. Blok prezentujący wiedzę systemu zawiera model środowiska (otoczenie robota) oraz model działania urządzeń towarzyszących, a także zbiór algorytmów działania. Do bloku tego człowiek wprowadza swoje zlecenia i dane z systemu informacyjnego oraz z urządzeń towarzyszących. Zlecenia człowieka jako cele działania wprowadzane są również do bloku planowania działania, gdzie następuje określenie kolejności poszczególnych czynności oraz uzgodnienie wszystkich programów działania.

System wykonawczy robota inteligentnego zawiera również specjalne bloki, w których przechowywane są informacje o własnościach geometrycznych organów wykonawczych robota, o właściwościach urządzeń czujnikowych, a także o geometrycznych parametrach urządzeń współpracujących z robotem. Blok realizujący działanie odpowiada za prawidłowe wykonanie zaplanowanych czynności.



Ważniejsze etapy inteligentnego działania: informacja musi być ujawniona, rozpoznana i zidentyfikowana, dopiero później może być określona aktualna sytuacja związana z uzyskaną informacją oraz wybrane najwłaściwsze metody działania. Realizacja działania powinna być kontrolowana, a jej wynik wprowadzany jest jako nowa informacja. Praktyczna realizacja poszczególnych etapów nastręcza obecnie jeszcze bardzo dużo trudności

Do obecnie realizowanych przez roboty zadań, które mogą zostać zakwalifikowane jako inteligentne, należą między innymi:

- określenie położenia przedmiotu w obszarze pracy robota,
- rozpoznanie kształtu przedmiotu,
- właściwe uchwycenie przedmiotu,

– przemieszczanie się w środowisku z nieokreślonymi przeszkodami,
– rozwiązywanie zadań i prowadzenie gier.

Poszukiwanie przedmiotu, rozpoznanie go i określenie jego położenia dokonywane jest podczas analizy otoczenia robota. Współpraca urządzeń czujnikowych, układu sterowania oraz urządzeń wykonawczych realizowana jest w oparciu o ściśle określone algorytmy postępowania, które obecnie nie są jeszcze zbyt rozbudowane.

Analiza przestrzeni otaczającej robota

Posługując się zmysłem dotyku, człowiek w ciemności (bez udziału zmysłu wzroku) dość łatwo określa położenie przedmiotu i zwykle znajduje właściwe miejsce uchwycenia. Natomiast współczesne roboty przemysłowe wymagają dokładnego ustalenia położenia przedmiotu, identycznego z pierwotnym ustawieniem podczas programowania pracy robota. Problem ten rozwiązuje się przez wyposażenie stanowisk pracy, na których pracują roboty, w urządzenia podające, orientujące i ustalające (pozycjonujące) przedmiot.

Niestety, zwykle ze względu na różnorodność kształtów i wymiarów przedmiotów muszą to być specjalne konstrukcje, drogie i przydatne tylko do wykonania jednego zadania. Z powyższych względów zdolność do samodzielnego odszukania przedmiotu w otoczeniu robota oraz jego prawidłowego uchwycenia stanowi pożądaną cechę robota.

Poszukiwanie przedmiotów w przestrzeni roboczej może być osiągnięte poprzez analizę obszaru za pomocą czujników dotykowych, czujników zbliżenia oraz poprzez analizę obrazu uzyskiwanego z kamer telewizyjnych. Metody dotykowe należą do najdokładniejszych, lecz wymagają precyzyjnego sterowania ruchem chwytaka oraz są stosunkowo wolne, gdyż prędkość przemieszczenia chwytaka nie może być zbyt duża ze względu na możliwość

uszkodzenia chwytaka albo przesunięcia obiektu (zmiany jego położenia lub zorientowania).

W układach sterowania poszukiwaniem przedmiotu łapa robota porusza się ponad przedmiotem i zbiera informacje z czujników zbliżenia umieszczonych w palcach. Na podstawie kolejności pojawiania się sygnałów z poszczególnych czujników, układ sterowania doprowadza łapę w położenie umożliwiające prawidłowe uchwycenie przedmiotu (zwykle takim warunkiem jest symetryczne ustawienie przedmiotu względem łapy). Po odebraniu sygnału prawidłowego ustawienia następuje rozwarcie palców łapy, jej opuszczenie i uchwycenie przedmiotu.

W łapie japońskiego robota „Hitachi" zastosowano 14 czujników dotykowych typu kontaktowego (mikroprzełączniki) oraz cztery czujniki nacisku wykonane z gumy przewodzącej prąd. Dzięki tym czujnikom oraz odpowiedniemu oprogramowaniu robot „Hitachi" może odszukać przedmioty znajdujące się na stanowisku, określić kształt i położenie przedmiotu w celu poprawnego uchwycenia oraz upakować zwarcie różne prostokątne przedmioty w pudełku.

Przy użyciu czujników zbliżenia i dotyku można więc wykryć obecność przedmiotu i jego położenie, jednakże przyszłościowe rozwiązanie tego problemu upatruje się w systemach wizyjnych.

Proces rozpoznawania obrazu dzieli się na kilka etapów:
- właściwe przygotowanie pola obserwacji (dobór oświetlenia, podłoża, zapewnienie właściwego kontrastu, czystości powietrza itp.),
- przyjęcie obrazu przez kamerę telewizyjną,
- przetworzenie sygnałów ciągłych na binarne (przetwornik analogowo-cyfrowy),
- utworzenie matrycy obrazu,
- obliczenie charakterystycznych parametrów obrazu,
- porównanie uzyskanych danych z danymi wzorcowymi, opracowanie wyniku.

Dalsza interpretacja wyniku dokonywana być może dodatkowymi, niezależnymi działaniami i może dotyczyć na przykład

opracowania odpowiednich rozkazów dla robota. Od dwudziestu lat prowadzi się intensywne badania dotyczące rozpoznawania obrazu przez jego porównanie z wzorcem, a praktyczne rozwiązania znalazły zastosowania w różnych dziedzinach: elektronice, poligrafii (czytniki pisma), biomedycynie (zliczanie ciałek krwi, rozpoznawanie komórek rakowych), statystyce, przemyśle maszynowym i innych.

Przy rozpoznawaniu kształtu przedmiotu na podstawie analizy obszaru stosuje się dwie metody: geometryczną i opisową. Pierwsza polega na analizie charakterystycznych parametrów geometrycznych obrazu, takich jak: pole powierzchni, położenie źródła ciężkości oraz osi symetrii, wybrane cechy konturu, typowe punkty obrazu itp. Wyznaczone parametry obrazu porównywane są z parametrami opisującymi wzorcowy kształt przedmiotu, co umożliwia rozstrzygnięcie zgodności kształtów i określenie ustawienia obiektu względem położenia wzorcowego. Metodę tę stosuje się przede wszystkim w urządzeniach przemysłowych służących do rozpoznania obrazów. Druga metoda – opisowa – polega na przypisaniu obszarom obrazu o podobnej jasności odpowiednich nazw, które następnie analizuje się, łączy w obszary o podobnych nazwach, wyznacza granice tych obszarów itp. – po czym wynik porównuje się ze zbiorem relacji, możliwych dla danej sceny obszarów w obrazie.

Rozpoznanie kształtu przedmiotu polega na:
- określeniu rozmiarów i formy przedmiotu,
- określeniu charakteru powierzchni,
- opisaniu przedmiotu, jego zidentyfikowaniu.

Rozpoznanie kształtu związane jest bezpośrednio z omówionymi wyżej zagadnieniami poszukiwania przedmiotu i dotyczy również problemów z zakresu sztucznej inteligencji. Rozwiązanie tego problemu stwarza szansę automatycznego sortowania różnych przedmiotów, ich wydzielania w zależności od określonych wyróżników. Zagadnienia powyższe próbuje się rozwiązać za pomocą układów analizy dotykowej i wzrokowej. Zmysłem dotyku można rozpoznać kształt, analizując informacje uzyskiwane

podczas kolejnych prób obejmowania badanego przedmiotu. Inna metoda rozpoznawania kształtu przedmiotu polega na analizie rozkładu ciśnienia, jakie badany przedmiot wywiera na czujniki umieszczone w palcach łapy, bądź wprost na mechanicznym próbkowaniu kształtu powierzchni za pomocą gęsto rozmieszczonych czujników kontaktowych.

Analizę rozkładu ciśnienia umożliwia czujnik dotyku z przetwornikiem ciśnienia umieszczonym w elastycznym materiale. Ponieważ w czujniku możliwe jest automatyczne nastawienie progu zadziałania, zatem uchwycenie obiektu umożliwia uzyskiwanie wielu obrazów powierzchni styku czujnika z obiektem. Przedstawiony proces uzyskiwania i analizowania obrazu nie jest ani szybki, ani łatwy. Przypomina on procesy fizjologiczne zachodzące podczas rozpoznawania kształtu w żywych organizmach, w których progi fizjologiczne zmieniają się w czasie, a ich wielkość zależy od bodźców zewnętrznych: przy gwałtownej zmianie bodźca na przyjmującej komórce nerwowej następuje gwałtowny pik (szczyt) aktywności nerwowej, gdy bodziec nie zmienia swej wartości, aktywność nerwowa spada.

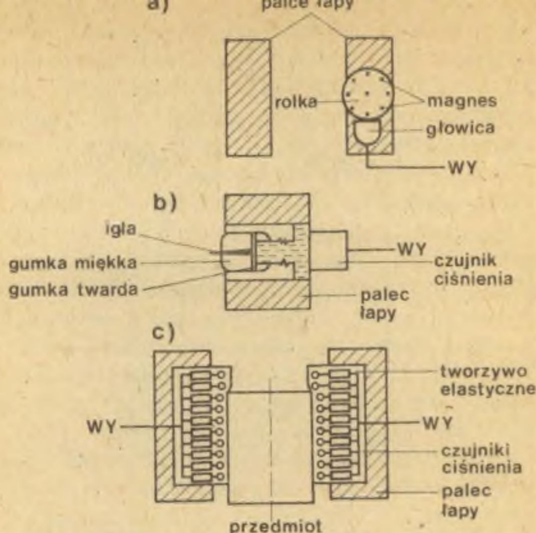
Do rozpoznawania kształtu stosowane są matryce czujników kontaktowych. Czujniki umieszczone są zwykle na przemieszczających się równolegle palcach łapy, między którymi odległość mierzona jest za pomocą przetwornika potencjometrycznego. Informacja z czujników dotyku oraz o odległości między palcami wprowadzona jest w określonych odstępach czasu do komputera, który uzyskuje jak gdyby przestrzenny obraz utworzony z kolejnych włączeń czujników. Następnym etapem rozpoznawania kształtu jest identyfikacja obiektu, polegająca na opracowaniu uzyskanych obrazów. W tym celu dokonuje się odpowiednich pomiarów i obliczeń charakterystycznych parametrów obrazu: powierzchni, jego obwodu, punktów charakterystycznych itp. Pomiar powierzchni polega na obliczeniu ilości czynnych czujników. W wielu przypadkach operacja ta wystarczy do rozpoznania obiektu (np. przy manipulowaniu przedmiotami o podobnych kształtach, lecz różniących się znacznie wymiarach). Jeżeli po-

miar powierzchni okazuje się niewystarczający, wówczas dodatkowym wyróżnikiem może być obwód obrazu przedmiotu. W celu pomiaru obwodu niezbędne jest oddzielenie punktów znajdujących się na konturze od tych, które znajdują się wewnątrz obszaru. Dodatkową informacją umożliwiającą rozpoznanie mogą być punkty charakterystyczne obrazu, na przykład środek powierzchni. Wiele innych punktów charakterystycznych uzyskać można stosując na przykład przecinanie obrazu liniami prostymi lub okręgami.

Mimo sprawdzonych już możliwości rozpoznawania kształtu za pomocą zmysłu dotyku, spodziewać się jednak należy, że przyszły robot będzie rozpoznawał obiekty wykorzystując zmysł wzroku – wymaga to również opracowania odpowiednich algorytmów rozpoznawania kształtu oraz szybkiego ich przetwarzania.

Chwytanie i manipulowanie przedmiotami

Manipulowanie przedmiotami o różnym ciężarze, różnym kształcie i strukturze powierzchni, o różnych właściwościach wytrzymałościowych wymaga zastosowania odpowiednich chwytów. Robot powinien wiedzieć, jaką siłę chwytu użyć do podniesienia i przeniesienia danego przedmiotu. Obecnie stosowane roboty przemysłowe nie mają, niestety, żadnych możliwości automatycznej zmiany wartości siły chwytu (siły nacisku palców łapy na powierzchnię przedmiotu), co praktycznie uniemożliwia ich stosowanie na przykład w procesach montażu części o różnej wytrzymałości elementów z tworzyw sztucznych, szkła, metali itp. Wprawdzie obecnie roboty przemysłowe manipulują szklanymi kineskopami telewizyjnymi, elementami z tworzyw sztucznych i innymi delikatnymi przedmiotami, ale ich urządzenia chwytające zostały specjalnie przygotowane do chwytania wyłącznie jednego wybranego przedmiotu. Z tych właśnie powodów problem chwytania z właściwą siłą (małą, ale wystarczającą do wykonania złożonego procesu manipulacji) różnych przedmiotów



/ układach sterowania siłą chwytu robota wykorzystuje się jako zmysł otyku czujniki przemieszczenia (poślizgu) wzajemnego między palcami ıpy a przedmiotem. Na pojedynczy sygnał przesunięcia z czujnika umieszzonego w palcach łapy układ sterowania odpowiada skokowym zwiększeiem o jeden stopień wartości siły chwytu. Zwiększenie siły trwa tak długo, ık długo przedmiot wysuwa się z łapy. Przykładowe rozwiązania czujników rzemieszczenia zawierają obrotową rolkę z odczytem magnetycznym (a), ıłę rejestrującą drgania (b) albo miniaturowe czujniki ciśnienia (c)

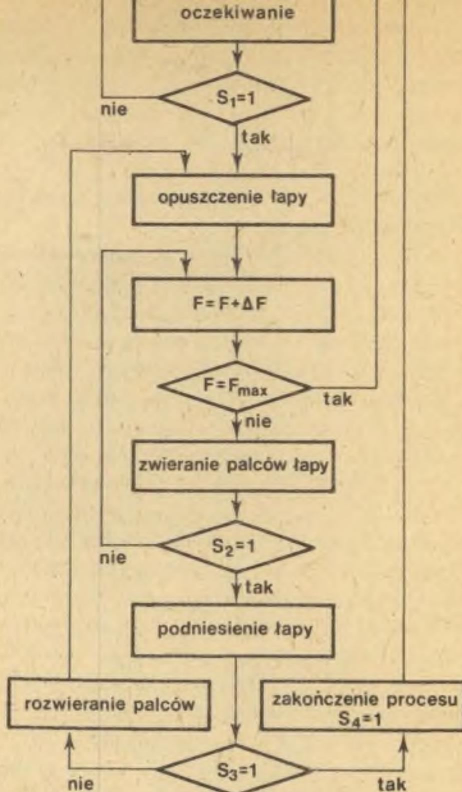
:ał się interesującym tematem badań. Próbuje się go rozwiązać ı różny sposób, lecz zawsze związane jest to ze stworzeniem ıniej lub bardziej rozbudowanego sztucznego zmysłu dotyku.

W jednym z prostych układów doboru minimalnej siły chwytu ıpy robota przyjęto zasadę programowania procesu chwytania iłą o stopień większą po każdej nieudanej próbie uchwycenia podniesienia przedmiotu.

Inne metody sterowania siłą chwytu wykorzystują jako zmysł dotyku czujniki przemieszczenia (poślizgu) wzajemnego między palcami łapy a przedmiotem. W układach tych pojedynczemu sygnałowi przesunięcia odpowiada skokowe zwiększenie o jeden stopień wartości siły chwytu. Zwiększanie siły chwytu trwa tak długo, jak długo przedmiot wysuwa się z łapy robota.

Przy dotknięciu do powierzchni chwytanego przedmiotu w palcu powstają naprężenia, których wartość zależna jest od siły nacisku palca na przedmiot. Zjawiska występujące przy jednoczesnym zaciskaniu palców na przedmiocie i jego podnoszeniu są złożone, lecz przy zastosowaniu specjalnego układu czujników dotyku możliwe jest uzyskiwanie informacji o chwili podniesienia (uchwycenia) przedmiotu. Palce łapy, zaciskając się na przedmiocie i jednocześnie próbując go podnieść, wywołują powstawanie sił tarcia. W miarę narastania wartości siły chwytu wzrastają również siły tarcia aż do chwili, w której zanika ruch względny przedmiotu oraz ruch palców łapy, czyli do chwili uchwycenia przedmiotu. Dalsze pionowe przemieszczanie się łapy nie powoduje już zmiany jej obciążenia, gdyż osiągnięto maksymalne obciążenie, równe ciężarowi uchwyconego przedmiotu. Dokonując ciągłej analizy (próbkowania) obciążenia palców łapy można stwierdzić, że w pewnym momencie obciążenie osiągnęło wartość stałą. W tej właśnie chwili należy przerwać dalsze ściskanie przedmiotu palcami łapy, ponieważ wywierana siła wystarcza do podniesienia przedmiotu. Układ taki ma właściwości adaptacyjne, gdyż wartość siły chwytu automatycznie dostosowuje się do zmiennych warunków otoczenia, takich jak: struktura stykających się powierzchni palców łapy i przedmiotu, współczynnik tarcia, ciężar przedmiotu itp.

Obiekt manipulacji (chwytany przedmiot) jest szczególnym elementem środowiska, gdyż na niego bezpośrednio oddziałuje robot. Niewątpliwie stworzenie systemu czujników, umożliwiających wydzielenie żądanego obiektu ze środowiska otaczającego robota, a następnie prawidłowe uchwycenie obiektu ma pierwszorzędne znaczenie dla prawidłowej realizacji zadań zlecanych



gorytm działania układu sterowania siłą chwytu zgodnie z zasadą pona-
'ania procesu chwytania z siłą o stopień większą po każdej nieudanej
óbie uchwycenia i podniesienia przedmiotu. Po zainicjonowaniu pracy
ładu sygnałem S_1 rozpoczyna się proces chwytania z najmniejszą wartoś-
ą siły. Jeżeli wartość siły chwytu jest zbyt mała, to przedmiot pozostanie
stanowisku, i do układu przekazywany jest sygnał S_3. Powoduje to
ıtomatyczne zwiększenie wartości siły chwytu i układ inicjuje kolejną
óbę uchwycenia. Cykl taki powtarzany jest do momentu podniesienia
zedmiotu

robotowi. W celu zwiększenia samodzielności robota niezbędne jest wyposażenie go w umiejętność reagowania na najbliższe otoczenie. Taka właściwość umożliwi mu bezpieczne poruszanie się, omijanie przeszkód na trasie ruchu, a także wykonywanie bardziej złożonych zadań, jak na przykład montowanie mechanizmów i maszyn.

Typowe czynności, jakie robot musi wykonywać w nowym środowisku to:

- badanie i opisanie środowiska (wszystkich stałych i ruchomych obiektów) oraz określenie swojego położenia,
- znalezienie drogi przejścia z jednego miejsca na drugie, z obejściem przeszkód znajdujących się na drodze,
- przeniesienie obiektu z jednego miejsca na drugie.

Te same czynności wykonuje nieprzerwanie człowiek, zwykle na wpół świadomie, lecz koncentracja jego uwagi występuje na wybranych etapach realizowania żądanej czynności.

Do przemieszczania się i transportu ładunków w nieznanych wcześniej warunkach otoczenia lub zbierania informacji w środowisku niebezpiecznym lub niedostępnym dla człowieka przeznaczone będą roboty autonomiczne (niezależne, o znacznej samodzielności). Aby taki robot mógł się poruszać w nieznanym środowisku (niezależnie od systemu lokomocji: na gąsienicach, na kołach lub na nogach) i prawidłowo wykonywać określone zadania, musi mieć rozbudowane układy czujnikowe, wykazywać możliwość szybkiego analizowania informacji dostarczanych przez te układy oraz formowania sposobu pracy. Robot autonomiczny, obok złożonej konstrukcji mechanicznej, powinien mieć sztuczny intelekt, umożliwiający mu szybkie rozwiązywanie problemów. Jeżeli otoczenie stanowić będzie pomieszczenie częściowo znane robotowi (na przykład w pamięci robota znajdują się wymiary pomieszczenia oraz ustawienie niektórych mebli), to typowym zadaniem przekazywanym przez człowieka może być przemieszczenie się robota do zadanego punktu. Przemieszczanie się robota w takim przypadku musi być poprzedzone szeregiem działań „myślowych", a mianowicie:

- rozpoznanie sytuacji, kiedy to na podstawie otrzymanego zadania następuje analiza otoczenia oraz stworzenie modelu otoczenia robota, z wyróżnieniem obiektów znajdujących się na trasie przewidywanego ruchu (plan, na którym zaznacza się zabronione oraz dozwolone dla ruchu obszary),
- planowanie (obliczenie) trasy ruchu robota, ze stworzeniem programu jego ruchu,
- adaptacyjne sterowanie ruchem robota na podstawie informacji o stanie robota i najbliższego otoczenia.

Zwykle otoczenie przedstawia się robotowi jako płaszczyznę opisaną współrzędnymi poszczególnych przeszkód, zadane są również punkt początkowy ruchu oraz położenie punktu docelowego. Przy wyborze trasy należy koniecznie wziąć pod uwagę to, że robot ma określoną szerokość i niektóre odległości między przeszkodami mogą być za małe, aby mógł się przez nie przedostać. Wyznaczenie optymalnej drogi do celu sprowadza się do zbudowania najkrótszej łamanej łączącej dwa punkty: start i cel. Dla człowieka zadanie wyznaczenia drogi na planie nie stanowi trudności (nawet w zadaniach typu labirynt), ale robot nie mając zakodowanego algorytmu poszukiwania drogi, musi rozwiązywać problem w takim ujęciu, w jakim człowiekowi jest go łatwiej zaprogramować.

Sterowanie ruchem robota przebiega w kilku etapach. Program sterujący (rozkazodawczy) inicjuje program obróbki informacji czujnikowej, po czym informacja o napotkanych przeszkodach przechodzi do programu opracowania trasy ruchu, składającej się z bezpiecznych odcinków. Współrzędne pierwszego punktu trasy przekazywane są do programu adaptacyjnego sterowania ruchem, który wypracowuje rozkazy do realizacji ruchu. Po wykonaniu takiego odcinka ruchu układ czujnikowy określa współrzędne robota i przekazuje je do układu sterowania w celu wprowadzenia korekty. Program obróbki informacji wzrokowej polega na zapamiętaniu wszystkich wykrytych przez układ optyczny charakterystycznych punktów otoczenia i tworzeniu konturów przeszkód Program ruchu robota zawiera takie rozkazy, jak: w przód, w tył,

w lewo, w prawo itp. Adaptacyjne sterowanie ruchem robota polega na bieżącej analizie otoczenia i określeniu aktualnych współrzędnych robota i współrzędnych celu oraz omijaniu przeszkód (stałych i ruchomych) na trasie.

Przyjmowanie, analiza i rozwiązywanie zadań zleconych robotowi

Działalność intelektualna robota polega na odpowiadaniu na pytania, dowodzeniu twierdzeń, uczestniczeniu w grach itp., realizowana jest dzięki odpowiednim programom dla maszyny cyfrowej, opisującym model działania. Opracowano wiele programów do gry w szachy, warcaby, kółko i krzyżyk itp. Modelowanie procedur tych gier, które są stosunkowo proste, ale jednocześnie istnieje bardzo wiele możliwych rozwiązań (dobrych lub złych), ma na celu próby wyjaśnienia istoty naszego intelektu oraz wykorzystanie sztucznego intelektu do rozwiązywania zadań.

Modelowy program gry zawiera następujące etapy:

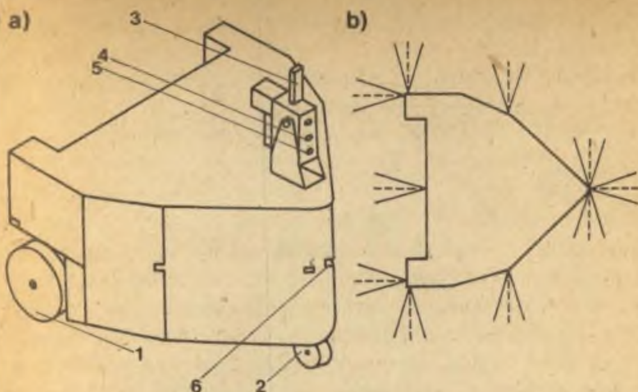
1. Człowiek określa pozycję wyjściową gry.

W zależności od tego, czy pierwszy krok należy do człowieka czy też do maszyny, następuje przejście do etapu 2 lub 5.

2. Człowiek wykonuje swój ruch.
3. Wytwarza się nowa sytuacja gry.
4. Jeżeli gra jest zakończona, podawany jest wynik. W przeciwnym przypadku następuje przejście do etapu 5.
5. Ruch wykonuje maszyna.
6. Jeżeli gra jest zakończona, drukowany jest wynik końcowy. W przeciwnym przypadku następuje przejście do etapu 2.

Układane przez człowieka sieci działań nie zawsze dają najbardziej korzystne rozwiązanie. Analiza takiej sieci dokonywana przez maszynę (robota) przeprowadzana być musi zarówno wszerz (rozpatrywanie różnych możliwości rozwiązań), jak i w głąb (poszukiwanie najbardziej korzystnych rozwiązań).

Większość badaczy sztucznego intelektu uważa, że najważniejszym obecnie zadaniem jest wyposażenie maszyny w umiejętność



Samodzielny ruchomy robot „Hilare": a) schemat robota, b) rozmieszczenie i obszar działania czujników ultradźwiękowych. Robot ma dwa koła napędowe (1) oraz jedno bierne (2). Czujniki ultradźwiękowe (6) umieszczone są na obwodzie korpusu w ten sposób, że możliwe jest zbieranie informacji o przeszkodach znajdujących się w otoczeniu robota. Na korpusie umieszczone są czujniki podczerwieni (3), laserowy dalmierz (4) oraz kamera telewizyjna (5)

uczenia się, co umożliwiłoby na podstawie ogólnej procedury tworzenie przez maszynę szczegółowych programów dla każdego nowego działania intelektualnego.

Przykładem samodzielnego poruszającego się robota jest francuski „Hilare". Ma on trzy koła, z których dwa mają niezależny napęd silnikami krokowymi (trzecie koło jest bierne). Algorytm sterowania umożliwia kontrolowanie prędkości i toru ruchu pojazdu.

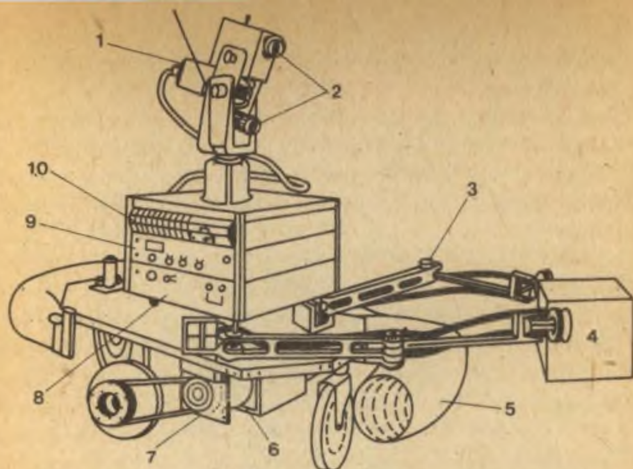
System informatyczny tego robota tworzą:

– główny komputer (centrum decyzji), sterujący całością układu, wykorzystywany w szczególnych okresach pracy robota, na przykład w czasie wykonywania pierwszych prób lub przy podejmowaniu złożonych decyzji,

- minikomputer sterujący systemem nawigacyjnym oraz urządzeniami pomocnicznymi,
- minikomputer sterujący zbieraniem informacji (przyjmowanie obrazów, mierzenie odległości laserem i ultradźwiękami, wzmacnianie sygnałów) oraz układem napędowym.

Środowisko otaczające robota analizuje system percepcji, składający się z kamery telewizyjnej, laserowego dalmierza, układu czujników ultradźwiękowych oraz układu radarowego. Zadanie tego systemu polega na wyznaczeniu pozycji i zorientowaniu (ustawieniu) widocznych przeszkód oraz rozpoznaniu różnych obiektów w otoczeniu. Otrzymany z kamery obraz, zawierający 256 linii, redukowany jest do 8 poziomów szarości (od białego do czarnego), a następnie specjalny program powoduje wydzielenie stref jednorodnych oraz wykreślenie konturów. Informacje o konturze są przesyłane do komputera, który opracowuje strategię dla pomiarów laserowego dalmierza, określa dokładne położenie przestrzenne przeszkody oraz jej kształt. Współpraca kamery telewizyjnej z dalmierzem skraca czas przyjmowania informacji o środowisku. Przyrządy te umieszczone są na wspólnej obrotowej podstawie, a ich osie optyczne przecinają się. Wiązka laserowa jest odchylana przez dwa zwierciadła poruszane silnikami krokowymi, sterowanymi przez minikomputer lub centrum decyzji. Takie rozwiązanie pozwala na zmniejszenie liczby zdalnych pomiarów, które mogą być wykonywane tylko w żądanych strefach obrazu. W zależności od rodzaju pracy silników napędzających zwierciadła można analizować linię horyzontalną albo pionową, albo wybrany punkt otoczenia.

Dziesięć czujników ultradźwiękowych umożliwia mierzenie odległości od przeszkody (od kilku centymetrów do wielu metrów, z dokładnością około 10%). Czujniki ultradźwiękowe pracują niezależnie od systemu wizyjnego robota i prowadzą nawigację robota w szczególnych przypadkach, na przykład podczas przemieszczania się w korytarzu, przy ścianie, przy obejściu przeszkody (gdy określona jest minimalna odległość przejścia obok przeszkody). Czujniki te pełnią również rolę hamulca



Tak wygląda współczesny robot zbudowany w Stanach Zjednoczonych. Ma on „oko" – kamerę telewizyjną (1) połączoną z dalmierzem (2), „ręce" – manipulatory (3), którymi może przenosić przedmioty (4), „zmysł dotyku" w postaci pneumatycznego zderzaka z czujnikiem ciśnienia (5), „mięśnie" – akumulatory i silnik (6 i 7) oraz „mózg" – blok sterowania (8, 9, 10). Układ sterowania znajdujący się na pokładzie (w korpusie robota) przeznaczony jest do sterowania organami wykonawczymi oraz urządzeniami sensorycznymi. Wszelkie działania intelektualne rozwiązywane są przez komputer, z którym robot komunikuje się drogą radiową

bezpieczeństwa – nadzorują bowiem otoczenie, sprawdzając, czy nie ma nieprzewidzianej przeszkody. W razie jej wykrycia pojazd zostaje zatrzymany na kilka centymetrów przed przeszkodą, nawet jeżeli jego prędkość jest maksymalna (1 m/s).

Niezależnie od pomiaru pozycji, dokonywanego w systemie napędowym robota (zliczana jest droga pokonywana przez oba koła napędowe), mierzone jest również położenie robota przez wspomniane wyżej urządzenie radarowe. Taki bezpośredni pomiar umożliwia wprowadzenie poprawki położenia robota (przy dochodzeniu do celu lub przeszkody).

Kilka modeli robotów, wykorzystujących zasady sztucznego intelektu, zbudowano w amerykańskich laboratoriach badawczych. W jednym z amerykańskich uniwersytetów wyposażono roboty w urządzenia czujnikowe, systemy decyzyjne oraz układy wykonawcze ściśle z sobą współpracujące. Jeden z modeli posiada trójkołową platformę, na której umieszczono kamerę telewizyjną, dalmierz optyczny, czujniki dotykowe, antenę do odbioru sygnałów radiowych oraz niezbędne wyposażenie do sterowania zespołami napędowymi. Sygnały z układu pomiaru odległości oraz obraz z kamery telewizyjnej przekazywane są drogą radiową do maszyny cyfrowej. Robot ten nie ma układu manipulacyjnego, a znajdujące się w jego otoczeniu przedmioty przemieszcza poprzez popychanie (eksperymenty przeprowadzano z bryłami o różnych kształtach geometrycznych). Położenie i zorientowanie robota określają dane z układu zliczającego, umieszczonego przy dwóch, niezależnie napędzanych, kołach. Ustawienie dalmierza i kamery telewizyjnej oraz regulacja ostrości odbywa się za pomocą elektrycznych silników krokowych. Dzięki odpowiednim programom zawierającym elementy sztucznego intelektu robot porusza się wśród przeszkód i realizuje określone zadania. Typowym zadaniem jest przeniesienie pudełka na płaszczyznę położoną wyżej niż podłoga, po której porusza się robot. Ponieważ robot może jedynie przesuwać przedmioty, więc zadanie to realizuje wykorzystując pochylnię. Rozkaz sformułowany przez człowieka: „Umieść pudełko A w miejscu X" – jest realizowany w następujących etapach:

1. dokonanie analizy obrazu i odnalezienie pudełka A oraz miejsca X,
2. ocena, czy operację można wykonać bezpośrednio popychając pudełko A,
3. jeżeli miejsce umieszczenia pudełka znajduje się powyżej płaszczyzny, po której porusza się robot, to należy wyszukać pochylnię wśród obiektów, przesunąć ją w odpowiednie miejsce, a następnie dojść do pudełka A i odpowiednio je przesunąć – po podłodze i po pochylni – na miejsce określone w rozkazie.

W badaniach modelu skoncentrowano się na budowie programów opracowania informacji czujnikowych, zapamiętania zmian środowiska zewnętrznego oraz wykonania kolejnych przemieszczeń. Utworzono specjalny język umożliwiający opracowanie programów identyfikacji obiektów, rozwiązywania zadań itp. Modele otrzymywały bowiem tylko ogólnie sformułowane zadania, a całą strategię postępowania układ opracował samodzielnie.

Kilka robotów z elementami działalności intelektualnej zbudowano w Japonii. Celem prowadzonych tam prac badawczych było nie tylko sprawdzenie wybranych metod postępowania robota, lecz również ocena praktycznych możliwości posłużenia się robotem w procesach montażowych. Jeden z takich robotów ma dwie kamery telewizyjne. Obraz z kamer przekazywany jest do pamięci maszyny cyfrowej, gdzie po analizie wydzielony zostaje obszar, w którym znajduje się przedmiot. Następnie nakierowuje się kamery na ten wybrany fragment obrazu i w sposób przypominający wodzenie wzrokiem po przedmiocie odbywa się dokładne badanie przedmiotu.

Rozkazy i niezbędne dane człowiek przekazuje robotowi za pomocą maszyny do pisania sprzężonej z komputerem, który przetwarza słowa w rozkazy dla mechanizmów wykonawczych. Udane eksperymenty z użyciem robota do prac montażowych przeprowadzono w japońskiej firmie Hitachi: na podstawie dostarczonych rysunków robot samodzielnie wybiera odpowiednie detale i określa kolejność ich uchwycenia w celu wykonania prawidłowego montażu zespołu. Jedna z kamer telewizyjnych przekazuje do maszyny cyfrowej obraz rysunku, na którym w trzech rzutach przedstawiono części i ich położenie w montowanym zespole. Natomiast druga kamera skierowana jest na przedmioty znajdujące się na stole montażowym. Za pomocą odpowiednich programów realizowane jest rozpoznanie przedmiotu, planowanie procesu montażu i wyznaczenie niezbędnych ruchów manipulatora. Eksperymenty przeprowadzono dla stosunkowo prostego zespołu – dziecinnej zabawki – modelu samochodu zawierającego 7 części (korpus, dwie osie i cztery koła).

7 ROBOTY PRACUJĄ

Gwałtowny wzrost zainteresowania robotami w ostatnim dziesięcioleciu należy przypisać w głównej mierze zapotrzebowaniu przemysłu na maszyny manipulacyjne, zastępujące robotników przy wykonywaniu monotonnych czynności, przy pracach uciążliwych i niebezpiecznych dla zdrowia.

To zapotrzebowanie przemysłu spowodowane zostało nie tylko brakiem rąk do pracy, lecz również chęcią lepszego wykorzystania wyposażenia produkcyjnego (robot może pracować 24 godziny na dobę!).

Robot nie jest jednak cudownym urządzeniem, które postawione obok maszyny zastąpić może człowieka przy wykonywaniu każdej pracy.

Obecnie produkowane roboty przemysłowe nie są urządzeniami zbyt skomplikowanymi. Wykonują one jedynie cykl czynności zapisany w pamięci robota, dowolną ilość razy odtwarzają wiernie to, czego nauczył ich operator – robotnik, wykonujący ręcznie pierwszy cykl pracy.

Roboty mogą więc być stosowane przy automatyzacji tych procesów manipulacyjnych, które są powtarzalne, złożone z prostych czynności ruchowych, wymagających obsługi jedną ręką i nie stawiających zbyt dużych żądań dokładności pozycjonowania. Zwykle nie może to być więc proces, w którym występują zmiany nie przewidziane w programie pracy robota, czyli początkowe i końcowe miejsca ustawienia przedmiotu muszą być w każdym cyklu pracy takie same, na trasie ruchu łapy robota nie mogą występować przeszkody itp.

We współczesnym przemyśle istnieje wiele procesów spełniających wymienione wymagania, należą do nich np. kucie i odlewanie, transport międzyoperacyjny bliskiego zasięgu, załadowywanie i rozładowywanie, składowanie, prace montażowe, malowanie itp. Większość tych prac była trudna do zautomatyzowania tradycyjnymi metodami. Wprawdzie buduje się specjalne automaty, wykonujące zadany cykl czynności, jednakże nawet stosunkowo proste czynności montażowe wymagają stosowania kilku oddzielnych urządzeń. Zmiana programu pracy takiego automatu wymaga z reguły wymiany całych zespołów, a samo przystosowanie automatu do innego przedmiotu nie jest sprawą ani łatwą, ani szybką. Automatyczny manipulator, w którym wymienia się program pracy (ewentualnie przystosowuje się również szczęki łapy do konkretnego przedmiotu), posiada znacznie większe możliwości przystosowania się do zmian produkcji niż automat.

We współczesnym przemyśle łatwo można zauważyć wysoki stopień automatyzacji procesów ciągłych i już wydaje się nam naturalne to, że na przykład procesy przeróbki ropy naftowej, dzięki działaniu układów automatycznej regulacji, trwają bez przerw. Człowiek zajmuje wówczas miejsce w sterowni i sprawdza prawidłowość przebiegu procesu albo zmienia parametry w układach regulacji, aby otrzymać żądaną ilość produktu o odpowiedniej jakości. (Wprawdzie i tę funkcję człowieka coraz częściej przejmują komputery, które potrafią szybciej przeanalizować większą liczbę parametrów).

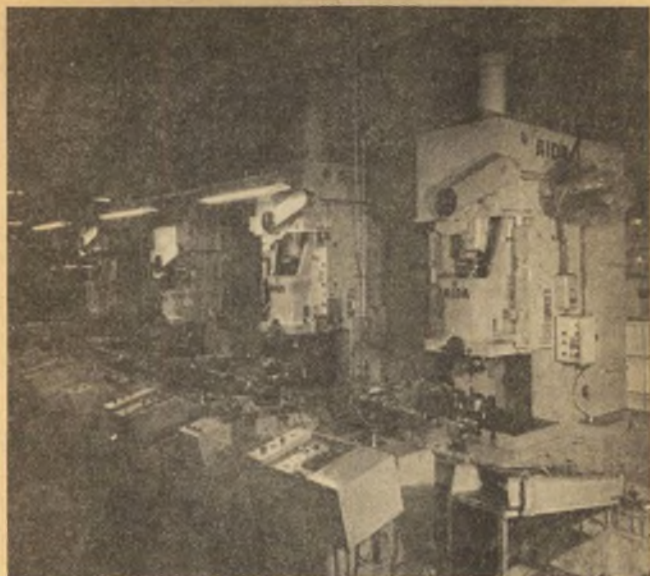
Nie dostrzegamy jednak tutaj robotów, których zmysłami mogłyby być przecież czujniki pomiarowe, mózgiem – regulatory i układy logiczne, a rękami – zawory pneumatyczne lub pokrętła potencjometrów. Automatyzacja procesów ciągłych poszła w innym kierunku: wyeliminowała konieczność tradycyjnego manipulowania wyrobami!

W przemyśle maszynowym, gdzie procesy technologiczne nie

przebiegają w sposób ciągły, a jednocześnie dla poszczególnych fragmentów tych procesów różne są wymagania dokładności i wydajności, od dawna stosowano specjalne oprzyrządowanie automatyczne. Takie pojedyncze maszyny, jak na przykład obrabiarki produkujące nakrętki, bardzo rzadko pracują w linii automatycznej i wymagają dużego wkładu robocizny przy zmianie programu ich pracy, gdy zachodzi konieczność wytwarzania różnych detali. Pierwsze automaty tokarskie miały krzywki o skomplikowanych profilach, które realizowały program ruchów poszczególnych narzędzi. Obliczenie profilu krzywki, jej wykonanie i wzajemne ustawienie krzywek wymagało zatrudnienia specjalistów o wysokich kwalifikacjach. Dalsze ulepszanie sposobu programowania pracy maszyn polegało na ich sterowaniu za pomocą taśmy perforowanej. Takie rozwiązanie jest korzystniejsze, gdyż program nie jest związany ze strukturą maszyny i każda jego zmiana nie wymaga żadnych zmian konstrukcyjnych maszyny. Dobrze opracowany program zapewnia lepszą jakość obróbki detali i zwiększenie wydajności, a bardzo często również umożliwia wytwarzanie przedmiotów, których wykonanie nie zawsze udaje się wykwalifikowanemu robotnikowi. Jednak przygotowanie takiego programu sterującego pracą maszyny wcale nie jest sprawą łatwą i dalszy postęp w tej dziedzinie polega na automatycznym zapisie programu. Praktycznie realizuje się to zazwyczaj w ten sposób, że pierwszy raz daną czynność wykonuje pracownik, a maszyna włączona na zapis rejestruje odpowiednie rozkazy dla swoich członów wykonawczych. Taką maszyną jest robot przemysłowy.

Pierwszy robot przemysłowy został zastosowany w 1962 roku w zakładach Forda, a obecnie znajdują się tam całe zespoły robotów wykonujących wiele skomplikowanych czynności.

Przemysł samochodowy należy do najpoważniejszych użytkowników różnego typu robotów przemysłowych. (Do typowych należą tutaj też linie montażu karoserii samochodu, gdzie kilkanaście robotów w kilkuset punktach zgrzewa montowane elementy).



Obecnie spotyka się całe linie technologiczne, w których roboty obsługują maszyny i wykonują złożone operacje (montaż). Na fotografii przedstawiono fragment linii produkcyjnej, w której roboty firmy Aida obsługują prasy hydrauliczne

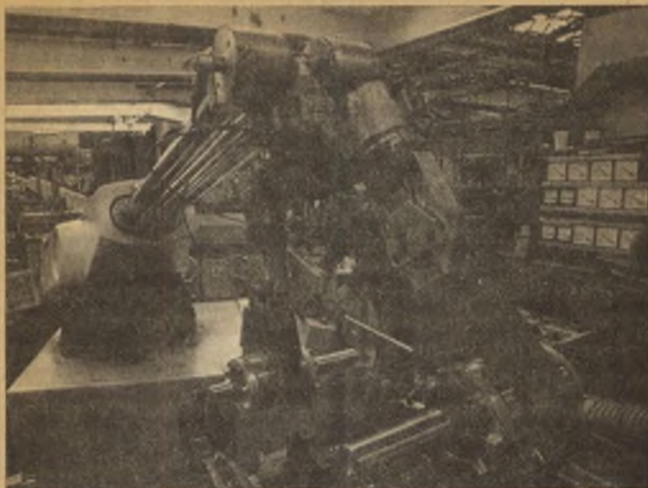
Wprowadzenie robotów do przemysłu to nie tylko ciekawostka techniczna, lecz konieczność podyktowana względami ekonomicznymi i ogólnospołecznymi. Wobec nowoczesnego przemysłu stawia się wymaganie stworzenia pracownikom zadowalających warunków pracy, eliminacji pracowników z tych stanowisk, na których występuje zagrożenie życia lub zdrowia (praca w atmosferze zapylenia, przy dużym natężeniu hałasu, przy wysokich temperaturach). Typowym przykładem może być praca lakierni-

ka, który powtarza dzień w dzień jedną lub kilka takich samych czynności. Warunki jego pracy są szkodliwe dla zdrowia mimo stosowania różnego rodzaju zabezpieczeń. Podejmuje się na przykład próby instalowania wyciągów, stosowania ubrań ochronnych, masek, jak i mechanizacji procesów (na przykład za pomocą mechanizmów posuwisto-zwrotnych wyposażonych w pistolety natryskowe), ale nie dają one jednak zadowalających wyników. Zastosowany natomiast przy stanowisku malowania natryskowego robot nie musi oddychać zanieczyszczonym powietrzem; trzymając pistolet może wykonywać przez całą dobę żądany cykl pracy bez uczucia zmęczenia. Do malowania natryskowego robot przemysłowy dysponuje możliwością takiego zaprogramowania, żeby program wprowadzany do pamięci był programem prawie idealnym, najlepszym z kilku prób malowania wykonanych przez fachowca. Ten fakt, że każdy przedmiot będzie identycznie pomalowany, przy optymalnych ruchach pistoletu, oraz że uzyskamy wysoką jakość pokrycia, ma kapitalne znaczenię ekonomiczne w dziedzinie stosowania robotów przemysłowych. Możliwa jest również realizacja różnych programów malowania dla różnych przedmiotów, o ile uprzednio dany przedmiot zostanie zidentyfikowany, a odpowiedni program pracy zapisany w pamięci robota.

Przy pracy w odlewniach i kuźniach, gdzie obok hałasu występują wysokie temperatury i gdzie zachodzi konieczność operowania na przykład odkuwkami nagrzanymi do temperatury kilkuset stopni, robot przemysłowy może i powinien zastąpić człowieka.

Obecnie przy obsłudze maszyn odlewniczych roboty przemysłowe przenoszą w pojemnikach roztopiony metal (cynk lub aluminium), zalewając nim formy.

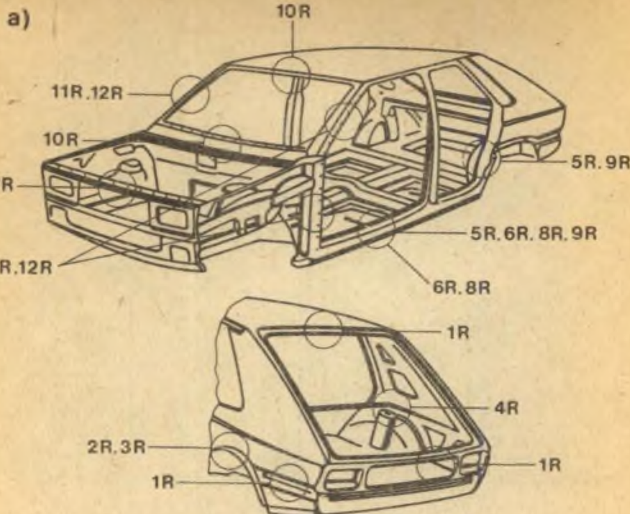
Robot przemysłowy może również wyeliminować wysiłek fizyczny człowieka, na przykład jeden ze szwedzkich robotów znalazł zastosowanie przy montażu silnika elektrycznego do manipulowania detalami o masie 30 kg. Uprzednio robotnik musiał podnosić te części kilkaset razy w ciągu zmiany.



Robot przemysłowy firmy Unimation przy produkcji silników elektrycznych. Na ramieniu robota umieszczone są chwytaki, których położenie można zmieniać bez konieczności poruszania całego układu kinematycznego – takie rozwiązanie często jest stosowane, gdyż umożliwia ono skrócenie czasu manipulacji

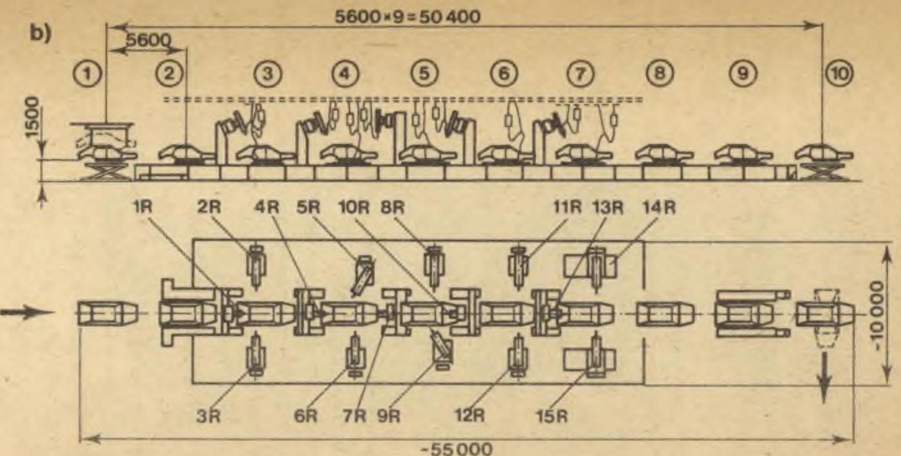
Przy operacjach zagrażających życiu automatyczne manipulatory stosuje się już od dawna. W przemyśle jądrowym, gdzie istnieje konieczność manipulowania substancjami promieniotwórczymi oraz radiotoksycznymi, często w temperaturze 200–250°C i w atmosferze dwutlenku węgla, obecnie stosuje się również roboty.

Klasyczny przypadek zastosowania robotów przemysłowych to obsługa urządzeń technologicznych, takich jak: prasy, obrabiarki skrawające, wykrojniki itp. Mogą to być tak proste operacje, jak dostarczenie półfabrykatu z przenośnika do maszyny, operacje manipulowania odlewem pomiędzy różnymi maszynami do wier-



cenia, gwintowania, szlifowania itp. Przenoszone być mogą zarówno przedmioty metalowe, jak również wyroby z tworzyw sztucznych, przy czym z reguły stosuje się wówczas specjalne urządzenia chwytające, zabezpieczające przed zniszczeniem obiekty o małej wytrzymałości.

Zastosowanie robotów przemysłowych przy projektowaniu nowoczesnych linii produkcyjnych umożliwia zrewolucjonizowanie sposobu wytwarzania. Szczególnie korzystne jest takie ustawienie programu pracy robota, aby mógł on obsługiwać jednocześnie kilka maszyn. Często w końcowym fragmencie linii kompletowania nadwozi samochodów stosuje się obecnie roboty przemysłowe (w FSO na Żeraniu zastosowano roboty przemysłowe amerykańskiej firmy Unimation). W linii znajduje się 15 robotów, z których dwanaście jest wykorzystywanych, a trzy



Zastosowanie robotów do zgrzewania karoserii samochodu: a) oznaczenie punktów zgrzewczych przez poszczególne roboty, b) schemat linii technologicznej montażu samochodu z wykorzystaniem robotów przemysłowych; numerami od 1 do 10 oznaczono kolejne stanowiska, a numerami od 1R do 15R wszystkie roboty przemysłowe pracujące na linii

ustawione są na końcu linii, aby w razie awarii któregokolwiek z robotów przejąć jego zadanie. Roboty te umieszczone są po obu stronach linii, a niektóre z nich podwieszone są nad linią technologiczną (umożliwia to łatwiejsze dojście do wybranych miejsc pracy robota, a jednocześnie pozwala zaoszczędzić nieco miejsca). Na pierwszym stanowisku odbywa się ładowanie nadwozia, zamocowanego na specjalnych saniach, zapewniających jego jednakowe położenie w czasie dalszego transportu. Na następnym stanowisku przeprowadzana jest kontrola poprawności wykonania poprzednich operacji. Na trzech kolejnych stanowiskach odbywa się zgrzewanie, roboty łączą tylną ścianę karoserii, błotniki, progi i inne elementy karoserii. Niektóre roboty pracują również wewnątrz karoserii, wykonując tam często skomplikowane ruchy w ograniczonej przestrzeni. Znajdujące się na końcu linii zapasowe roboty mogą przemieszczać się na szynach wzdłuż linii. W omawianym procesie roboty zgrzewają 384 punkty, co stanowi 1/4 ogólnej liczby zgrzein wykonywanych w linii technologicznej zgrzewania. Na kolejnym stanowisku przeprowadzona jest kontrola wykonanego zgrzewania, na końcowym stanowisku następuje rozładowanie linii. Każdy z robotów posiada swój indywidualny układ sterowania, ale do sterowania nadrzędnego całej linii wykorzystano minikomputer, który kontroluje i synchronizuje pracę robotów oraz innych urządzeń linii, a także specjalnego wyposażenia. W razie awarii minikomputer lokalizuje uszkodzenia na stanowisku i przekazuje odpowiednie informacje do zapasowego robota, który podjąć może pracę, kontynuując zadania uszkodzonego robota. Roboty na linii zgrzewania zastępują w ciągu jednej zmiany 17 pracowników. Warto podkreślić, że praca na linii zgrzewania jest uciążliwa, gdyż robotnik musi przemieszczać ciężką (mimo że podwieszoną) głowicę do zgrzewania, podczas wykonywania spoiny sypią się skry... Robot natomiast pracuje bez zmęczenia, zawsze z jednakową dokładnością wykonuje powierzone mu zadanie.

W krajowym przemyśle istnieje nowoczesna linia malowania natryskowego przy produkcji wanien, zlewozmywaków i innych



Niezwykle trudne są warunki pracy przy malowaniu natryskowym. Chronić należy całą powierzchnię ciała, ale specjalne ubranie (rękawice, nakrycia głowy, maski na twarz) znacznie utrudnia pracę. Osłonięte powinny być również wszystkie połączenia ruchomych członów robota

elementów tłoczonych z blachy. Przedmioty przemieszczane są na transporterze podwieszonym i w czasie ich ruchu jeden robot maluje powierzchnię zewnętrzną, a drugi powierzchnię wewnętrzną przedmiotu. Zmiana programu ruchów przy malowaniu różnych przedmiotów (wanny, zlewozmywaki różnej wielkości) dokonywana jest przez wymianę kaset z nagranym programem. Robot uruchamiany jest przez układ czujników optycznych oraz dotykowych, które mają na celu stwierdzenie właściwego zorientowania przedmiotu w kabinie malarskiej, a niekiedy również rozpoznanie rodzaju części.

Najwięcej robotów zastosowano u nas przy automatyzacji transportu bliskiego, czyli przy podawaniu i odbieraniu półwyrobów z różnych maszyn (obrabiarki, wykrojniki, prasy itp.). Takich stanowisk pracy jest bardzo dużo, szczególnie w przemyśle maszynowym. Główna trudność przy wdrażaniu robotów polega na konieczności odpowiedniego przygotowania półwyrobów (ich ustawienia i zorientowania w pozycji początkowej), zwykle bowiem półwyroby dostarczane są na stanowiska w stanie nieuporządkowanym (np. w skrzyniach), a roboty przemysłowe nie mają jeszcze układów umożliwiających rozpoznawanie przedmiotów (ich kształtu i zorientowania).

W jednym z zakładów przemysłowych zastosowano robota na stanowisku do mycia kół zębatych. Koła te znajdują się w koszykach i dostarczane są transporterem. Robot zdejmuje koszyk z transporterem i wkłada go do myjki, zasuwa szufladę i uruchamia proces mycia. Po odczekaniu 2 minut robot odsuwa szufladę, wyjmuje koszyk, za pomocą sprężonego powietrza suszy koła znajdujące się w koszyku i odkłada koszyk na przenośnik. Dotychczas robotnik musiał dźwigać koszyki z kołami zębatymi.

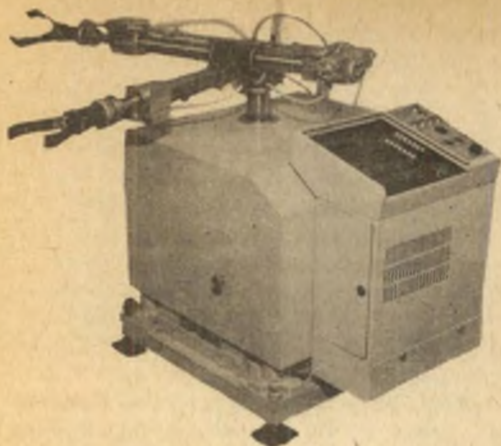
W naszym kraju produkuje się wiele różnych maszyn manipulacyjnych – od najmniejszych i najprostszych manipulatorów do złożonych robotów przemysłowych.

Najmniej złożone pod względem konstrukcyjnym są manipulatory budowane z cylindrów pneumatycznych (siłowników) o ruchu prostoliniowym, w których tłok pod wpływem sprężonego powietrza przemieszcza się z jednego skrajnego położenia w drugie. Skrajne położenia można ograniczyć zderzakiem, czyli można wstępnie ustalić miejsce, do którego dany człon ma dojść, bez konieczności wymiany całego cylindra. Jeżeli do części ruchomej przymocowany zostanie następny siłownik, mający możliwość przemieszczania się prostopadle do kierunku ruchu poprzedniego, to możliwe staje się przemieszczanie w płaszczyźnie. Przemieszczenia w przestrzeni można uzyskać dołączając następną jednostkę o ruchu prostopadłym do przemieszczeń poprzednich członów. Do końcowego elementu takich układów

przymocowane są chwytaki (łapy). W każdym z położeń końcowych znajduje się czujnik sygnalizujący dojście do żądanej pozycji. Na podstawie stanu czujników położenia układ sterowania wytwarza sygnały przesyłane do układów napędowych poszczególnych jednostek. Najprostsza wersja układu sterowania jest taka, w której cykl pracy jest stały i nie może ulegać zmianie. Taki układ jest projektowany podczas konstruowania manipulatora i przeznaczony do wykonywania tylko jednego rodzaju czynności. Proste układy sterowania dla tych manipulatorów budowane mogą być z pneumatycznych elementów logicznych. Manipulatory tego typu przeznaczone są do przenoszenia elementów na stanowisku montażowym. Zakresy przemieszczeń są niewielkie (50-200 mm) oraz małe są również maksymalne ciężary przenoszonych obiektów (0,1-0,5 kG).

Jeden program pracy stanowi istotne ograniczenie w zastosowaniach automatycznego manipulatora, przy zmianie bowiem asortymentu produkcji lub zmianie procesu technologicznego często niezbędna okazuje się wymiana całego układu sterowania. Z tego względu automatyczne manipulatory o prostej strukturze kinematycznej wyposażone zostały w układy sterowania, umożliwiające programowanie pracy manipulatora – zapisywanie mniej lub bardziej złożonego programu pracy. Programowanie takie może odbywać się przed samym uruchomieniem procesu technologicznego, a zmiana warunków manipulacji wymaga jedynie zmiany układu połączeń na tablicy programującej, bez konieczności zmiany struktury układu sterowania. W Polsce opracowano kilka robotów przemysłowych pracujących na tej zasadzie typu RIMP, PR-02 i PRO-30.

Robot przemysłowy RIMP składa się z podstawy, kolumny obrotowej oraz jednego lub dwóch ramion, do których przymocowane są chwytaki. Stosować można zarówno chwytaki ze sztywnymi palcami, jak i chwytaki elektromagnetyczne lub podciśnieniowe (przyssawki). Robot może wykonywać następujące ruchy: podnoszenie kolumny, obrót kolumny, wysuw ramienia i obrót chwytaka wokół osi ramienia. Podnoszenie i obrót kolumny



Robot przemysłowy RIMP należy do najczęściej spotykanych typów w polskim przemyśle – pierwsze z nich zastosowano w FSO na Żeraniu oraz w Warszawskich Zakładach Telewizyjnych. Zwykle robot ten ma jedno ramię, a przedstawiona wyżej wersja dwuramienna umożliwia w niektórych przypadkach przyspieszenie obsługi maszyn. Mechanizmy napędowe robota znajdują się w korpusie mocowanym na stałe do podłoża

realizowane są napędem pneumo-hydraulicznym, natomiast wysuw ramienia, obrót oraz zwieranie palców chwytaka – pneumatycznymi zespołami napędowymi. Maksymalny udźwig robota wynosi 5 kG. Ramiona robota mogą obracać się o 120°. Na pulpicie sterującym robota znajdują się przyciski umożliwiające ręczne sterowanie poszczególnymi zespołami robota oraz tablica połączeń zawierająca 36x50 pozycji. Pierwsza liczba oznacza pojemność programu, który zawierać może 36 kroków, to znaczy w jednym cyklu pracy może wykonać 36 elementarnych ruchów.

Roboty przemysłowe PR-02 posiadają różną strukturę kinematyczną. W zależności od potrzeb można sobie zestawić kilka

jednostek napędowych, realizujących obrót lub przemieszczenie prostoliniowe. Istnieje wiele odmian robota PR-02, gdyż oprócz możliwości łączenia modułów wprowadzono również kilka odmian wymiarowych. Jednostka przesunięcia liniowego zawiera cylinder pneumatyczny dwustronnego działania, w którym znajdują się miniaturowe przełączniki, przekazujące do układu sterowania sygnał elektryczny – informację o osiągnięciu położenia krańcowego. Układ sterowania stanowi oddzielny zespół, który może być ustawiony w odległości do 5 metrów od robota. Układ sterowania umożliwia zarówno automatyczne wykonywanie programu pracy w sposób ciągły lub skokowy, jak i sterowanie ręczne poszczególnymi zespołami. Układ umożliwia również odbieranie i przekazywanie sygnałów do urządzeń technologicznych, z którymi współpracuje robot. Programowanie polega na włożeniu wtyku diodowego w gniazdo na tablicy programowej, która ma 640 gniazd (32 kolumny i 20 wierszy). Proste roboty przemysłowe PR-02 przeznaczone są do obsługi maszyn i współpracy z urządzeniami technologicznymi; typowymi przykładami ich zastosowań jest ładowanie i rozładowywanie obrabiarek oraz obsługiwanie przenośników taśmowych. Te proste roboty przemysłowe budowane są wyłącznie z elementów krajowych, w tym również z polskich układów scalonych.

Robot przemysłowy PRO-30 przeznaczony jest przede wszystkim do obsługi obrabiarek. Ma on trzy stopnie swobody (obrót wokół osi pionowej, nachylenie ramienia oraz obrót przedramienia). Do końca przedramienia przymocowane są dwa chwytaki umożliwiające zdejmowanie przedmiotu obrobionego oraz zakładanie półwyrobu do obrabiarki, bez konieczności każdorazowego przenoszenia pojedynczej sztuki. Chwytaki przystosowane zostały do szybkiej wymiany, co jest konieczne przy zmianie kształtów i wymiarów obrabianego przedmiotu. Nominalny udźwig robota wynosi 30 kG, lecz przy zmniejszonej szybkości można za jego pomocą również manipulować obiektami o masie 60kG. Jednostki ruchu obrotowego mają napęd elektromechaniczny, a chwytak – napęd hydrauliczny. Robot PRO-30 wyposażony został we

własny układ sterowania, z możliwością wysyłania i odbierania sygnałów z układu sterowania obrabiarki. Programowanie robota dokonuje się podczas ręcznego wykonywania żądanej operacji. Robot ten przystosowany jest szczególnie do współpracy z tokarką kołową: pobiera przygotowane do obróbki wałki, podaje je do zamocowania, potem zdejmuje po wykonaniu zaprogramowanych zabiegów, a następnie składa do zasobnika. Zastosowanie robota umożliwia zwiększenie stopnia wykorzystania obrabiarek sterowanych numerycznie i umożliwia tworzenie centrów obróbczych, sterowanych przez komputer, w których człowiek pełni jedynie funkcje nadzorczą.

Na podstawie umowy kooperacyjno-licencyjnej ze szwedzką firmą ASEA podjęto w Polsce produkcję robotów IRb-6 oraz IRb-60 (o udźwigu odpowiednio 6 i 60 kG). Robot przemysłowy typu IRb ma napęd elektryczny (szybkobieżne silniki prądu zmiennego) oraz elektroniczny układ sterowania z mikrokomputerem. Układ sterowania oddzielony jest od części mechanicznej i może być ustawiony w oddzielnym pomieszczeniu. W pamięci układu sterowania mogą być jednocześnie rejestrowane cztery programy główne oraz kilkadziesiąt podprogramów. Robot ma trzy stopnie swobody: ruch obrotowy kolumny oraz promieniowy i pionowy ruch ramienia. Dodatkowo przegub, na którym umieszczony jest chwytak, może mieć trzy stopnie swobody. Jest to robot bardzo precyzyjny – może ustawić przedmiot z dokładnością 0,2 mm. Posługując się zespołem programującym operator wykonuje żądany cykl czynności, a pozycja i prędkość poszczególnych członów rejestrowane są w pamięci układu sterowania. Jeżeli fragment operacji został niedokładnie wykonany, to istnieje możliwość wprowadzenia poprawek do programu. W ten sposób robot może realizować idealny przebieg procesu manipulacji. Dodatkową zaletę robota stanowi możliwość zarejestrowania jego programu na taśmie magnetycznej do ewentualnego późniejszego ponownego wykorzystania. Program zarejestrowany w pamięci układu może być powtarzany dowolną ilość razy. Duża dokładność pracy robotów tego typu oraz duża ruchliwość części mecha-



Robot przemysłowy IRb-60 może dźwigać ciężką głowicę do zgrzewania i w związku z tym zastosowano te roboty w linii montażu karoserii samochodu. Każdy z robotów wykonuje kilkadziesiąt zgrzein. Te uniwersalne maszyny manipulacyjne można łatwo przeprogramować w przypadku zmiany kształtu bądź wymiarów karoserii samochodu

nicznej stwarza możliwość szerokiego zastosowania robotów tego typu, nawet w takich czynnościach jak: spawanie łukowe, szlifowanie i polerowanie.

W wyniku porozumienia z amerykańską firmą Unimation prowadzi się w kraju również prace związane z budową robota przemysłowego o napędzie hydraulicznym – pierwsze roboty typu RIMP 1000 – oparte o elementy produkcji krajowej zostały już

zastosowane w polskim przemyśle. Programowanie czynności, które ma wykonać robot, odbywa się metodą uczenia. Pojemność pamięci robota wynosi 200 rozkazów.

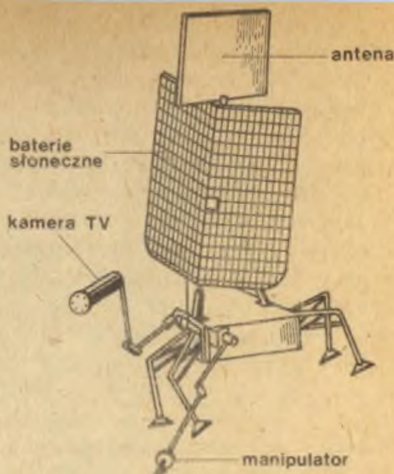
Oprócz przedstawionych wyżej istniejących już rozwiązań konstrukcyjnych w kilku ośrodkach uczelnianych i przemysłowych prowadzone są prace związane z budową robotów. Część badań dotyczy również zagadnień przyszłościowych: zastosowania czujników dotykowych, zbliżenia oraz optycznych, w tym również analizy obrazu uzyskiwanego z kamery telewizyjnej.

Niewątpliwie zapotrzebowanie na roboty przemysłowe, szczególnie proste roboty przemysłowe, będzie stale wzrastało. Niezbędne jest jednak obniżenie kosztów ich wytwarzania.

Inne, obecne i przyszłościowe zastosowanie robotów

Badania kosmiczne mają znaczący wpływ na postęp wielu dziedzin techniki – również rozwój zainteresowania robotami autonomicznymi przypisać należy amerykańskim i radzieckim programom kosmicznym. Niezbędne okazało się wysyłanie w przestrzeń pozaziemską aparatów mogących w pełni zastąpić człowieka. Przyczyną zasadniczą wcale nie jest – jak się zwykle uzasadnia – praca w warunkach niebezpiecznych dla ludzkiego organizmu, gdyż wystarczające okazały się ubrania ochronne (skafandry), lecz konieczność długotrwałego przebywania w kosmosie oraz badania przestrzeni kosmicznej o nieznanych parametrach środowiska. Konstruuje się więc obecnie roboty dokonujące oceny stanu sztucznych satelitów, obsługujące i naprawiające obiekty kosmiczne, roboty montujące stacje kosmiczne, zmieniające oprzyrządowanie i aparaturę pomiarową na satelitach.

Oprócz programu „Apollo", który zakładał bezpośredni udział człowieka w badaniu Księżyca, Amerykanie przygotowali również program wysyłania tam robotów. Prototyp takiego robota był wyposażony w układ czujników, układ telewizyjny i manipulator. Przemieszczał się na czterech nogach, co umożliwiało mu



Prawdopodobnie tak wyglądać będzie robot przeznaczony do badań powierzchni planet Układu Słonecznego. Będzie to urządzenie kroczące z manipulatorem (być może dwuręcznym) oraz z kamerą telewizyjną, również umieszczoną na ramieniu – pozwoli to na zaglądanie w trudno dostępne miejsca. Oprócz własnego rozbudowanego układu sterowania robot połączony będzie drogą radiową z centralnym układem sterowania, znajdującym się na pokładzie stacji kosmicznej krążącej wokół planety

pokonywanie przeszkód wysokich na 10 cm, i poruszał się z prędkością do 5 km/h. Robot zasilany był z układu baterii słonecznych.

Przy badaniu planet Układu Słonecznego uwzględnić należy odległość od Ziemi. Do najbliższej planety sygnał radiowy wysyłany z Ziemi dociera po dwóch minutach i tyle samo czasu potrzebuje na powrót. Takie czasy reakcji na niebezpieczeństwo są zabójcze nawet dla najbardziej „przemyślanej" maszyny. Ponieważ nie ma możliwości skrócenia czasu przebiegu sygnałów (prędkość fal radiowych jest równa prędkości światła), więc

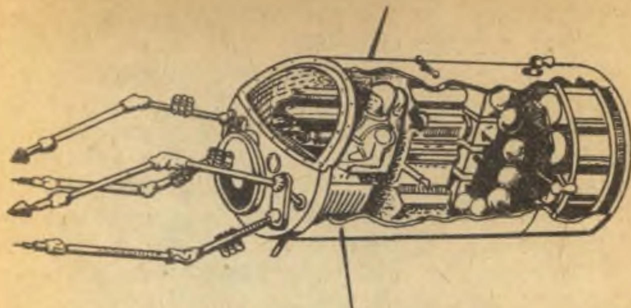
aparaty wysyłane na inne planety muszą sterować się same, a z Ziemi przysyłane będą jedynie ogólne zadania. Na Ziemię robot przekazywać będzie już opracowane wyniki dokonanych pomiarów.

Zarówno radziecki, jak i amerykański program kosmiczny przewidują dostarczanie na powierzchnię Wenus samodzielnych aparatów, które potrafią opracować wyniki pomiarów oraz zmieniać program badań w zależności od otrzymywanych rezultatów. Wstępne założenia do budowy takiego aparatu uzyskuje się dzięki sondom kosmicznym przekazującym dane o warunkach panujących na tej planecie. Według znanych projektów aparat taki składałby się z dwóch części: jedna byłaby stacjonarna i zawierała w sobie stację przekaźnikową do łączności z Ziemią oraz główną maszynę cyfrową, która opracowywałaby informacje, podejmowała decyzje, a druga byłaby ruchomym robotem. Ten zawierałby własną maszynę cyfrową, która na podstawie informacji o otoczeniu, o swojej budowie oraz informacji dostarczanych z głównej maszyny cyfrowej określałaby zachowanie się robota, tj. sterowała jego ruchami oraz pobieraniem odpowiednich informacji o środowisku. Robot ten wyposażony będzie w komplet czujników, układy pomiarowe, środki przemieszczania itp.

Na planetach roboty wykonywać będą między innymi następujące zadania:

- równomierne przemierzanie badanej przestrzeni w celu otrzymania mapy powierzchni z wyróżnieniem żądanych parametrów (np. dotyczących gruntu),
- określenie żądanych granic obszarów (np. dotyczących złóż mineralnych),
- poszukiwanie na powierzchni stref lub punktów o zadanych parametrach itd.

Perspektywy wykorzystania dla dobra ludzkości obszarów wodnych stworzyły zapotrzebowanie na budowę urządzeń technicznych zbierających informacje o środowisku, w którym człowiekowi nie jest zbyt wygodnie pracować. Ubranie ochronne oraz wyposażenie nurków nie stwarza możliwości długotrwałego prze-



Do badań podwodnych prawdopodobnie wykorzystywane będą telemanipulatory – sterowane przez człowieka z możliwością bezpośredniej obserwacji albo sterowane zdalnie przy obserwacji za pomocą kamery telewizyjnej. W obu przypadkach zapewnić należy właściwą jasność otoczenia

bywania na dużych głębokościach, również stosowane obecnie manipulatory ze zdalnym sterowaniem wykazują wiele niedogodności i ograniczeń związanych chociażby z kablowym połączeniem operatora i aparatu. Pośrednim rozwiązaniem są batyskafy, którymi bezpośrednio steruje załoga, lecz i te aparaty nie mogą wypełnić wszystkich zadań, jakie stawia program badania oceanów. Trzeba bowiem, podobnie jak na obcej planecie, badać powierzchnię dna oceanu na dużych przestrzeniach, w warunkach wysokich ciśnień, przy braku oświetlenia i na powierzchni o różnej strukturze, a także oddziaływać fizycznie na niektóre obiekty i przemieszczać je w przestrzeni. Roboty podwodne powinny więc być wyposażone w zmysły, które umożliwiałyby zbieranie informacji o środowisku w pełnej ciemności i pod dużym ciśnieniem oraz pracę przy minimalnym zużyciu energii. Projekty wykorzystania dna morskiego dotyczą zarówno wydobywania potrzebnych minerałów (m.in. ropy), otrzymywania substancji białkowych, jak również budowy baz rakietowych oraz baz łodzi podwodnych.



Optymiści tak właśnie wyobrażają sobie przyszłość

Opracowano już i wypróbowano konstrukcje robotów pływających oraz przemieszczających się po dnie, współpracujących z elektroniczną maszyną cyfrową i realizujących samodzielnie programy zlecone przez człowieka. Przy rozwiązywaniu tych zagadnień występują obecnie duże trudności, związane m.in. z orientacją robota pod wodą, zasilaniem go w energię itp.

Oczywiście nie trzeba odwoływać się aż do tak wyszukanych warunków, jakie panują w przestrzeni kosmicznej i głębinach oceanów, aby wykazać, że roboty są ludziom potrzebne. Budową coraz bardziej sprawnych robotów zainteresowany jest przemysł atomowy, używający od początku różnego rodzaju manipulatorów, zastępujących człowieka w pracach ze źródłami promieniotwórczymi, przy obsłudze i naprawie reaktorów atomowych. Roboty są potrzebne do prowadzenia badań naukowych w strefach radioaktywnych, na poligonach atomowych.

Pojawiły się roboty do wykonywania określonych prac w domu. Są to specjalistyczne urządzenia, ale niewiele mają one wspólnego z omawianymi automatami. W różnych krajach poważnie jednak pracuje się nad zagadnieniem ułatwienia życia gospodyniom domowym i automatyzacji prac domowych. Na przykład w Japonii zbudowano robota w postaci węża na kółkach, przeznaczonego do sprzątania, mycia naczyń i jeszcze kilku innych prac. W pewnym sensie robotem domowym jest automatyczna pralka, do której wystarczy wrzucić bieliznę, określić żądane parametry prania (wybór programu) i po określonym czasie wyjąć już suchą, czystą bieliznę.

Projekty związane z przyszłym zastosowaniem robotów nie omijają żadnej z dziedzin działalności ludzkiej – roboty mają również pracować tam, gdzie obecnie człowiek nie ma dostępu. Japońskie prognozy rozwoju nauki i techniki do roku 2000 przewidują uruchomienie produkcji robotów do prac domowych (sprzątanie, gotowanie), do współuczestniczenia z człowiekiem w grach i sportach, do opieki nad chorymi i w wielu innych sferach działalności człowieka.

* * *

Jesteśmy świadkami pojawiania się pomocników człowieka – robotów, które wyręczają go w skomplikowanych czynnościach manualnych oraz intelektualnych; w wielu działaniach są one szybsze, dokładniejsze i bardziej od niego niezawodne. Budowa i działanie robotów wymagać będzie niewątpliwie dalszych badań, wprowadzenia udoskonaleń, rozbudowania ich zdolności intelektualnych. Coraz więcej ludzi poznaje roboty nie tylko z kart powieści fantastyczno-naukowych, lecz z rzeczywistych kontaktów z nimi w fabryce. Korzystamy z dóbr konsumpcyjnych wytworzonych przez roboty: może nasz zlewozmywak czy wanna malowane były przez roboty? Może pewne elementy samochodu wykonane zostały za pomocą robota?

Niewątpliwie postęp techniczny stwarzać będzie warunki dla

dalszej automatyzacji czynności manualnych i intelektualnych człowieka (działania takie nazywamy robotyzacją). Przewiduje się, że wkrótce istotny stopień robotyzacji osiągnięty zostanie w przemyśle, gdzie roboty wykorzystane zostaną nie tylko bezpośrednio w produkcji, lecz również w obsłudze, kontroli, zaopatrzeniu itp. Spodziewać się należy również pełnej robotyzacji badań kosmicznych.

Nie ma jednak jasnych poglądów dotyczących następstw robotyzacji: głoszony jest skrajny pesymizm albo skrajny optymizm. Pesymiści, do których należał również Norbert Wiener, twórca podstawy cybernetyki, twierdzą, że przyniesie to katastrofalne skutki społeczne, wyróżniające się m.in. masowym bezrobociem, konfliktami społecznymi i zdeprecjonowaniem wartości humanitarnych, w tym także pracy ludzkiej. Natomiast optymiści upatrują ery dobrobytu, w której bezzałogowe fabryki zaspokoją wszystkie potrzeby społeczne, a człowiek dzięki dużej ilości wolnego czasu będzie mógł go poświęcić na rozwijanie swoich zainteresowań i organizowanie życia według własnych potrzeb. Bądźmy optymistami!

Spis treści

Redaktor IRENA PANEK
Redaktor techniczny JANINA ŚCIECHOWSKA
Korektor MONIKA PASZKOWICZ

ISBN 83-10-08354-8

PRINTED IN POLAND

Instytut Wydawniczy „Nasza Księgarnia".
Warszawa 1984. Wydanie pierwsze.
Nakład 40 000+250 egzemplarzy.
Ark. wyd. 4,6. Ark. druk. 4.
Oddano do produkcji w październiku 1982 r.
Podpisano do druku w marcu 1984 r.
DSP - Warszawa. Zam. nr 85/k/83. T-88

Cena zł 50.-



ISBN 83-10-08354-8